

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁶ : B01D 65/08, 63/08, 63/16	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 99/26717 (43) Date de publication internationale: 3 juin 1999 (03.06.99)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02475 (22) Date de dépôt international: 19 novembre 1998 (19.11.98) (30) Données relatives à la priorité: 97/14825 26 novembre 1997 (26.11.97) FR (71)(72) Déposant et inventeur: JITARIOUK, Nikolai [RU/FR]; 26, rue Lacretelle, F-75015 Paris (FR).		(81) Etats désignés: AU, BR, CA, CN, JP, US, brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: APPARATUS, SYSTEM AND METHOD FOR SEPARATING LIQUIDS

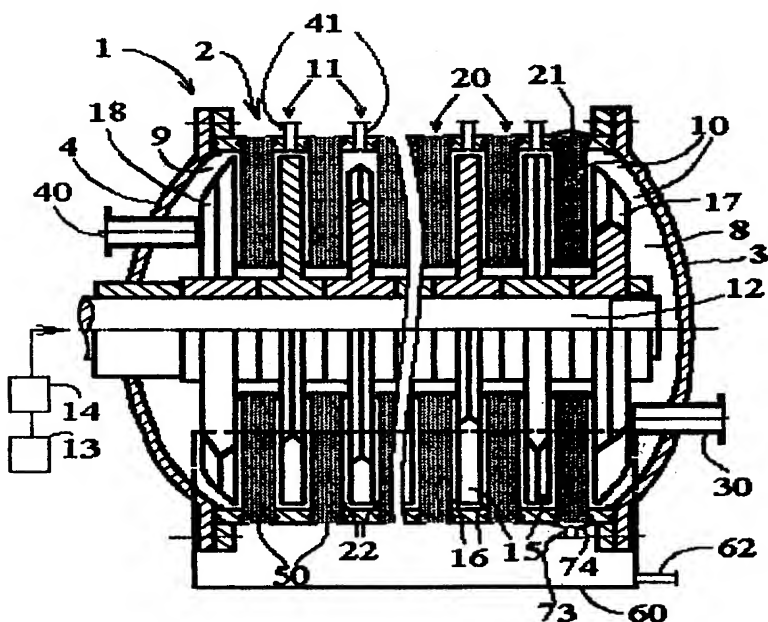
(54) Titre: APPAREIL, SYSTEME ET PROCÉDE DE SEPARATION DES LIQUIDES

(57) Abstract

The invention concerns an apparatus, a system and a method for separating liquids by reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration and microfiltration by the joint effect of differential pressure formed on either side of a membrane (22) arranged in the apparatus (1), the continuous rotation of a body (15, 17, 18) in the proximity of said membrane selective surface, oscillating the liquid flow with means (15, 17, 18) and vibrating said membranes. The simultaneous combination of continuous rotating movements, oscillating the liquid and vibrating the membranes results in attenuating clogging of the membranes by the retained matters.

(57) Abrégé

L'invention concerne un appareil, un système et un procédé de séparation des liquides par osmose inverse, nano-, ultra- et microfiltration sous l'effet conjugué de la pression différentielle formée de part et d'autre d'une membrane (22) disposée dans l'appareil (1), de la rotation continue d'un corps (15, 17, 18) au voisinage de la couche sélective de ladite membrane, de la mise en oscillations du flux de liquide à l'aide des moyens (15, 17, 18) et de la mise en vibration desdites membranes. La superposition desdits mouvements rotatifs continus, des oscillations du liquide et des vibrations des membranes a pour conséquence une atténuation du colmatage des membranes par les matières retenues.



UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MX	Mexique	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	NE	Niger	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NL	Pays-Bas	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NO	Norvège	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NZ	Nouvelle-Zélande	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	PL	Pologne	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PT	Portugal		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	RO	Roumanie		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RU	Fédération de Russie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	SD	Soudan		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SE	Suède		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SG	Singapour		
DK	Danemark	LR	Libéria				
EE	Estonie						

APPAREIL, SYSTEME ET PROCEDE DE SEPARATION DES LIQUIDES5 **DESCRIPTION****Domaine technique**

Le domaine de l'invention est celui du traitement, de la séparation et de l'épuration
10 des liquides. Plus précisément, la présente invention concerne un appareil de séparation à
membranes pour le traitement des liquides en éliminant desdits liquides les matières en
suspension, en émulsion et/ou les matières dissoutes (minéraux et organiques). Elle
concerne aussi un système et un procédé de séparation des liquides.

L'appareil de séparation à membrane permet d'obtenir deux courants de liquide :

- 15 a) un courant de perméat ou de filtrat dépourvu en totalité ou en partie des
matières en suspension, en émulsion et/ou dissoutes (minéraux et/ou organiques) ;
ce courant représentant la majeure partie du liquide à traiter ;
b) un courant de concentrat ou de retentat enrichi en matières en
suspension, en émulsion et/ou dissoutes.

20 La présente invention concerne également le traitement des liquides contenant des
produits chimiques, microbiologiques, pharmaceutiques, alimentaires, lesquels doivent
être éliminés ou concentrés effectivement, en totalité et/ou de façon sélective. Dans ces
domaines un appareil, un système et un procédé selon la présente invention peuvent être
notamment avantageux grâce à la possibilité de fonctionner longtemps sans colmatage des
25 membranes ou avec un colmatage atténué, avec maintien d'un niveau élevé de
perméabilité et nécessitant le minimum de prétraitement desdits liquides à traiter.

Termes utilisés dans l'invention

30 Afin d'éviter toute incompréhension de la présente invention par elle-même et en
la comparant avec un état de la technique antérieure, les termes suivants méritent d'être
explicités pour une meilleur compréhension au cours de cette description.

"Liquide à traiter" est un liquide aqueux ou organique chargé de matières
organiques ou inorganiques, qu'elles soient en suspension et/ou dissoutes et/ou en
35 émulsion. Ce liquide est introduit dans le système de séparation à membranes pour le
traitement.

"Liquide" est le liquide en cours de traitement dans l'appareil de séparation à membranes. Il est préparé à partir du liquide à traiter lors de la phase de traitement qui s'appelle "phase de concentration".

5 "Concentrat ou retentat" est la portion du liquide qui n'est pas passé à travers la membrane et qui est enrichie en matières retenues par la membrane jusqu'au taux de concentration souhaité. Dès que le taux souhaité est atteint le concentrat est purgé en respectant la constance dudit taux de concentration. A partir de ce moment commence la phase de traitement qui s'appelle "phase de séparation".

10 "Perméat ou filtrat" est la portion du liquide qui est passée à travers la membrane et qui est dépourvue d'une partie ou de la totalité des matières (colloïdales, émulsifiées et/ou dissoutes).

"Taux de concentration T_C " lors de la phase de concentration du liquide à traiter T_C est défini de la façon suivante :

$$15 \quad T_C = \frac{V_p}{V_p + V_{cc} + V_c} \bullet 100\%$$

où

V_p est le volume de perméat ;

V_{cc} est le volume de liquide dans la cuve de concentration ;

20 V_c est le volume de liquide dans les conduites.

Après avoir obtenu le taux de concentration souhaité (c'est le début de la phase de séparation), T_C est calculé par :

$$25 \quad T_C = \frac{\text{Débit de perméat}}{\text{Débit de perméat} + \text{Débit de purge du concentrat}} \bullet 100 \%$$

"Membrane ou milieu filtrant" est un milieu de filtration ou de séparation qui a pour objet l'élimination plus ou moins sélective d'une partie ou de la totalité des matières - colloïdales, émulsifiées et/ou dissoutes - qui se trouvent dans le liquide. La membrane comprend en général au moins deux couches :

30 - la première - la couche sélective contenant les pores les plus fins - qui fait face au compartiment rempli du liquide et qui joue un rôle primordial dans la séparation ;

- la deuxième - la couche de soutien - qui fait face au compartiment contenant le perméat ou filtrat et qui a pour but de soutenir la fine couche sélective en lui conférant une stabilité mécanique.

Dans la présente invention peuvent être utilisés les différents types de membranes:

- du point de vue de leur application : pour microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et/ou osmose inverse à basse pression ;
- du point de vue de leur composition : en polymère, en métal, en céramique et/ou en métallo-céramique et/ou tout autre matériau adapté ;
- du point de vue de leur structure : symétriques, asymétriques, composites.

"Interstice de fonctionnement" est l'espace formé entre la surface principale du corps rotatif et la surface de la membrane.

"Cellule" est une partie de l'appareil de séparation, de préférence de forme cylindrique, ayant un diamètre bien supérieur à sa longueur, et comprenant un corps rotatif disposé entre deux membranes et un interstice de fonctionnement de part et d'autre dudit corps ; elle est limitée sur chaque face par une membrane.

"Chambre de perméat" est une partie de l'appareil de séparation, de préférence de forme cylindrique ayant un diamètre bien supérieur à sa longueur, et comprenant au moins un support poreux couvert par une membrane sur chacune de ses deux faces principales et qui sert à soutenir la membrane, réceptionner et évacuer le perméat.

"Perméabilité" est mesurée par le rapport du débit de perméat à la surface de la membrane traversée.

"Conditions oscillatoires" est un état du liquide qui est caractérisé par des variations non-stationnaires et éventuellement périodiques de champs de vitesse, de débit, de flux et/ou partiellement, de pression dudit liquide sous l'action de forces extérieures contrôlées.

"Colmatage" est un phénomène limitant l'efficacité de n'importe quel appareil de séparation à membranes en réduisant sa perméabilité ; ce phénomène résultant des effets suivants : apparition d'une couche de dépôt de matières sur la couche sélective de la membrane ; obturation des pores de la membrane par lesdites matières ; apparition de la couche de polarisation pendant le traitement des solutions contenant des sels et/ou de macromolécules dissoutes.

"Préfiltration grossière" est un prétraitement du liquide à traiter ayant pour but d'enlever les grosses particules représentant une partie des matières en suspension, ayant une taille d'au moins 20 micromètres, en utilisant des méthodes classiques de filtration.

Etat de la technique antérieure

Un certain nombre de solutions techniques ont été proposées. Il est connu [le document 1 : Nakao S.-I. "Current status of inorganic membrane in Japan". Proc. 2nd Inter. Conf. Inorg. Membr. - ICIM₂-91, Montpellier, France, July 1-4, 1991. Eds.: A.J.Burggraaff, J.Charpin and L.Cot. Trans Tech Publications ; apparu dans "Key Engineering Materials", Vol. 61&62 (1991) pp.219-228], par exemple, un appareil de séparation ayant des membranes planes rotatives. Pour la microfiltration de sauce de soja il n'y avait pas de filtration en deçà d'une pression minimale seuil, à cause de l'effet des forces centrifuges sur la perméabilité des membranes.

Il a, en outre, été proposé dans le document 2 : WO-A-95/09818, un procédé de traitement des eaux usées en utilisant un système hybride incluant des étapes de précipitation physico-chimique, de microfiltration et de nanofiltration de type tangentielle. Ladite filière a dû permettre de prolonger la durée de vie des membranes de micro- et nanofiltration grâce à la succession des différents procédés de traitement : la précipitation en amont de la microfiltration, elle-même en amont de la nanofiltration. En plus, afin d'éviter le colmatage rapide des membranes de nanofiltration, la pression différentielle de fonctionnement de ces membranes a été limitée à 1,5 bar. Mais, il est bien connu qu'une étape de microfiltration qui doit aider à éviter le colmatage des membranes de nanofiltration sera elle-même une étape qui va poser le problème du point de vue du colmatage.

Une autre invention (document 3 : WO-A-96/09986) concerne un procédé et une installation de traitement de liquides contenant des déchets organiques. La filière de traitement inclut des étapes de traitement physico-chimique ainsi que ultra- ou microfiltration et ensuite une osmose inverse. Toutes les étapes de traitement à membranes sont du type classique, c'est-à-dire tangentielle. Dans cette invention aussi il est montré que les étapes de prétraitement (tamisage, coagulation, floculation, oxydation, filtration etc.) permettent de prolonger la durée de vie des membranes pendant toutes les étapes de traitement membranaire. Pour ces deux dernières inventions, les systèmes résultants sont très encombrants et complexes.

Les appareils de filtration à corps rotatifs ont été décrits dans les brevets récents WO-A-95/00231, WO-A-96/01676, WO-A-95/16508, WO-A-92/21425 et US-A-5,143,630 (documents 4 à 8, respectivement). Tous ces brevets utilisent des corps rotatifs placés au voisinage des membranes et destinés à réduire leur colmatage.

Les appareils décrits dans ces brevets (documents 4 - 8) ont pour objectif de réduire le temps de remplacement des membranes. Il est proposé d'utiliser des modules contenant les membranes avec leurs supports. Lesdits modules sont en eux-mêmes d'une conception complexe mais ils sont faciles et rapides à assembler et à désassembler du système de filtration.

Par ailleurs ces appareils sont mécaniquement complexes et posent des problèmes d'usure, d'encombrement et de réglage, en particulier pour les parties en rotation. Ces appareils nécessitent souvent l'utilisation d'arbres creux, ce qui rend le système plus complexe et plus fragile. Le problème du colmatage des membranes est partiellement abordé par ces innovations par rapport à celles qui utilisent la filtration classique à flux tangentiel.

Le document 6 : WO-A-95/16508 a pour objet un arbre sur lequel sont fixés des corps rotatifs dans un appareil de séparation. On propose un corps rotatif ayant au moins deux pales qui sont fixées audit arbre par des pivots. En état de fonctionnement, ces pales prennent une position radiale, c'est-à-dire dépliée. Lors du remplacement des membranes, les pales sont repliées et permettent d'extraire l'ensemble du module membranaire.

Dans le document 6 le diamètre élevé de l'arbre dans un état plié des pales réduit la surface utile de la membrane. En particulier, le rapport D/d entre le diamètre des pales en position dépliée D et de l'arbre avec ses corps rotatifs pliés d , ne varie que de 2,1 à 2,6. L'équilibrage de cet assemblage lorsque l'arbre est en rotation est problématique. La forme des pales est déterminée par l'exigence de compacité maximale en position pliée.

Dans certains des brevets déjà cités ci-dessus (le document 7 : WO 92/21425 et le document 8 : US 5,143,630) on propose de mettre en vibration les corps enfilés sur l'arbre, déjà animés d'un mouvement de rotation, pour réduire le colmatage des membranes. Mais il n'est jamais proposé de solution technique pour réaliser lesdits mouvements vibratoires.

On peut conclure de l'étude de l'état de la technique antérieure que les efforts étaient principalement dirigés pour faciliter l'échange des modules contenant les membranes sans dépose de l'arbre portant les corps rotatifs. Ces dispositifs ont des conséquences négatives multiples : l'intérieur de l'appareil de séparation est plus complexe, l'étanchéité plus difficile à préserver, il n'est pas possible de travailler à des pressions élevées. Or ce n'est que parce qu'il y a colmatage des membranes qu'il est nécessaire de les changer fréquemment. Donc le problème de réduction du colmatage des membranes reste à l'ordre du jour et attend une solution plus efficace. Si on réduit

significativement ce colmatage, le changement des membranes sera beaucoup moins fréquent et on peut simplifier la construction de l'appareil de séparation.

La présente invention a pour objectif de proposer un appareil de séparation à membranes à colmatage réduit comprenant au moins quatre membranes plates fixes et au moins trois corps rotatifs à proximité de la couche sélective desdites membranes, lesdits
5 corps générant des vortex secondaires, et au moins un moyen de génération des conditions oscillatoires dans le liquide.

Un autre objectif de la présente invention est de proposer un appareil de séparation dans lequel chaque membrane est soumise à un mouvement vibratoire afin
10 d'éviter ou atténuer leur colmatage. Ledit appareil ayant au moins quatre membranes installées sur deux supports poreux semi-fixes, étant rigides et de construction simple, et comprenant chacun au moins un disque fabriqué de préférence en poudre métallique frittée ou en tout autre matériau poreux adapté. Ledit disque, couvert de part et d'autre par la membrane, est animé de mouvements vibratoires induits par les variations oscillatoires
15 de flux et de pression de liquide, d'une part, et par le mouvement rotatif continu des corps enfilés sur l'arbre, d'autre part. La superposition des vibrations des membranes et des oscillations de flux de liquide contribue à réduire le colmatage des membranes.

Un autre objectif de la présente invention est de prolonger la durée de fonctionnement du système de séparation entre deux périodes de lavage des membranes, de prolonger la durée d'utilisation des membranes, ainsi que d'améliorer les
20 performances des membranes utilisées. L'utilisation de la construction proposée de corps rotatif ayant une forme d'hélice permet de distribuer la charge en matières éliminées par la membrane de manière uniforme sur toute sa surface. Cette distribution uniforme permet d'améliorer l'efficacité de la membrane, d'une part, et d'éviter la formation de
25 zones stagnantes ayant une tendance à être colmatées de façon préférentielle, d'autre part.

Un autre objectif de la présente invention est d'augmenter la charge de la membrane en matières en suspension au-delà des valeurs qui peuvent être déterminées par la méthode "Silt Density Index - index de la densité de dépôt" (voir document 9 : ASTM D 4189-82), sans réduire l'efficacité de la membrane. Ceci constitue une avancée
30 majeure puisqu'il n'a pas été possible jusqu'à présent de traiter de tels liquides par les techniques précédentes de filtration sans un prétraitement rigoureux, quelle que soit la technique de filtration utilisée (spiralée, tangentielle et/ou à disques rotatifs dans le milieu liquide à mouvement stationnaire, c'est-à-dire non-oscillatoire). Ceci est vérifié pour les matières en suspension ainsi que pour les matières dissoutes. Au total, la

présente invention permet de traiter par ultra- et nanofiltration et par osmose inverse, des liquides dont les concentrations en matières en suspension, en matières dissoutes et/ou en matières en émulsion sont beaucoup plus élevées que le permettraient les techniques précédentes, et ceci sans l'utilisation d'un prétraitement desdits liquides par microfiltration.

Un autre objectif de la présente invention est de proposer un système de séparation universel qui peut s'appliquer pour la micro-, ultra, et/ou nanofiltration ainsi que pour l'osmose inverse à basse pression. Dans tous lesdits cas on peut utiliser le liquide à traiter sans aucun prétraitement ou avec un faible prétraitement (une seule étape de préfiltration grossière). Dans ce dernier cas le prétraitement a pour objectif d'enlever du liquide à traiter les grosses particules et ceci non pas pour diminuer les risques de colmatage mais pour éviter tout effet d'agression mécanique pouvant détériorer la couche sélective de la membrane.

Un autre objectif de la présente invention est de proposer un procédé de séparation de liquides en utilisant ledit appareil qui peut s'adapter à différentes contraintes particulières exigées. En particulier un même appareil et un même système de séparation peuvent être utilisés pour les procédés suivants : microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse, simplement en utilisant les membranes convenables. Grâce à la résistance élevée au colmatage, le procédé de séparation peut être proposé pour atteindre des concentrations élevées de produit en question dans le concentrat, d'une part, et pour traiter des liquides fortement concentrés, d'autre part. Pour un grand nombre des liquides à traiter, il n'est plus nécessaire d'utiliser de réactifs supplémentaires pour retarder le colmatage des membranes et prolonger ainsi leur durée de fonctionnement entre les lavages. L'absence des étapes de prétraitement mène à un système de séparation plus simple du point de vue de leur utilisation et plus compact.

Un autre objectif de la présente invention : augmenter la perméabilité atteinte de la membrane grâce à la prévention ou l'atténuation d'un dépôt de composants du liquide sur la couche sélective de la membrane. De plus, et pour la même raison, la perméabilité élevée des membranes est maintenue pendant une durée plus longue. Au total ces deux facteurs améliorent l'efficacité de l'appareil de séparation à membranes.

Exposé de l'invention

Les objectifs mentionnés ci-dessus, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints selon l'invention grâce à un appareil de séparation à membranes destiné à

séparer le(s) composant(s) présent(s) dans un liquide à traiter. L'appareil est caractérisé en ce qu'il est constitué d'une enceinte stationnaire ayant une symétrie axiale, d'au moins quatre membranes plates de la forme d'un disque avec un trou au centre par lequel est enfilé un arbre sur lequel sont fixés au moins trois corps disposés au voisinage desdites membranes et lequel arbre est animé d'un mouvement de rotation qui entraîne lesdits corps. Ladite enceinte contient des chambres de perméat et des cellules disposées en alternance consécutive l'une par rapport à l'autre et traversées par l'arbre. Ledit arbre est mis en mouvement par un moteur ou tout autre moyen par l'intermédiaire d'un système de transmission. Chaque cellule comprend un corps enfilé sur l'arbre et deux espaces formés entre ledit corps et les surfaces des membranes disposées de part et/ou d'autre dudit corps rotatif, lesquels espaces sont les interstices de fonctionnement. La largeur de l'interstice de fonctionnement varie entre 0,5 et 50 mm, de préférence entre 1 et 6 mm. Il y a deux types de cellules dans l'appareil : au moins une cellule intermédiaire, chacune des deux faces de ladite cellule étant constitué de la membrane, et au moins deux cellules extrêmes, une face desdites cellules extrêmes étant formée de la membrane, l'autre face formée de la paroi extrême de l'enceinte cylindrique, ladite première paroi extrême contenant au moins un dispositif commun d'introduction du liquide (c'est la cellule extrême d'introduction) et ladite deuxième paroi extrême contenant au moins un dispositif commun d'évacuation du liquide (c'est la cellule extrême d'évacuation). Ladite deuxième paroi extrême comprenant aussi un dispositif de fixation de l'arbre. Les membranes séparent l'appareil en deux compartiments : le premier contient le liquide et le deuxième contient le perméat.

Les dispositifs communs d'introduction et d'évacuation sont disposés dans les parois extrêmes opposées entre l'arbre et le bord externe desdites parois. Le liquide peut être complémentirement évacué du premier compartiment de l'appareil à travers au moins un dispositif périphérique d'évacuation disposé dans la paroi annulaire de chaque cellule intermédiaire. Le rapport entre le débit de liquide à travers le dispositif commun d'évacuation et la somme des débits de liquide à travers tous les dispositifs périphériques d'évacuation détermine la relation entre les flux sériels et parallèles distribués parmi les différentes cellules de l'appareil de séparation. La partie de liquide qui est passée à travers les membranes, le perméat, remplit la partie de l'appareil de séparation appelée chambre de perméat et est évacuée à travers le bord externe de ladite chambre par au moins un dispositif d'évacuation du perméat.

Les corps rotatifs enfilés sur l'arbre sont placés dans chaque cellule de l'appareil. Ces corps ont de préférence la forme d'une hélice ayant au moins deux pales liées à l'anneau central de ladite hélice. Chacune desdites pales comprend deux surfaces principales dont la courbure le long de la ligne de circonférence peut être négative, nulle ou positive. La courbure des surfaces principales des pales de l'hélice située dans la cellule intermédiaire est de préférence nulle. De préférence, la courbure de la surface principale des pales de l'hélice située dans la cellule extrême est de préférence positive (c'est-à-dire convexe) pour la surface qui fait face au dispositif commun d'introduction (ou d'évacuation) et la courbure est nulle pour la surface qui fait face à la membrane.

Lesdites surfaces étant limitées par un bord d'attaque et un bord de fuite biseautés, courbés suivant une spirale, et par un bord de circonférence ou par un bord externe. Les bords latéraux biseautés et courbés suivant une spirale permettent de diminuer des pertes énergétiques pendant la rotation des hélices. Le bord de circonférence étant coaxial à l'axe principal de l'arbre, une hélice ayant ledit bord est placée de préférence dans chacune des cellules extrêmes. Le bord externe étant non-coaxial à l'axe principal de l'arbre, une hélice ayant ledit bord est placée de préférence dans la cellule intermédiaire. La géométrie du bord d'attaque et du bord de fuite est calculée par une formule définie ci-dessous.

Soit $N = k\pi$ est un angle de serrage de chacun des deux bords latéraux déterminant la forme de chaque pale de l'hélice (k est un coefficient). Alors la forme du bord d'attaque et du bord de fuite d'une pale est décrite par l'équation suivante :

$$\chi \cdot \sin\left(\chi + m \cdot \frac{\pi}{n}\right) = \chi \cdot \cos\left(\chi + m \cdot \frac{\pi}{n}\right) \quad (1)$$

où

χ est un angle courant du bord d'attaque ou du bord de fuite de la pale ;
 m est un nombre entier déterminant (en unités de π/n) un angle de départ d'un bord par rapport à l'axe horizontal (abscisse) au centre du cercle enfermant les pales et constituant un bord de circonférence de chaque hélice ;
 n est un nombre de pales.

Dans l'équation (1) la valeur absolue de χ varie entre 0 et N . Selon la présente invention, le coefficient k varie entre 0,05 et 1, de préférence entre 0,1 et 0,6.

Le nombre des pales n peut varier entre 2 et 12. De la même façon l'angle entre le bord d'attaque et le bord de fuite de chacune des pales varie entre 15 et 180° alors que l'angle entre le bord d'attaque d'une pale et le bord de fuite de la pale suivante peut varier entre 0 et 165°. Le rapport entre le rayon de la circonférence des pales et le rayon du bord externe de l'anneau central qui soutient lesdites pales varie entre 3 et 15.

La vitesse de rotation des hélices varie entre 20 et 5000 tours par minute, de préférence entre 200 et 2500 tours/mn et peut être modifiée de façon souhaitée lors de fonctionnement de l'appareil.

La phase du positionnement de l'hélice dans chacune des cellules intermédiaires l'une par rapport à l'autre peut varier entre 0 et 180 °.

L'hélice d'une cellule extrême de l'appareil contient des pales avec un bord d'attaque et un bord de fuite ayant la même forme que ceux de l'hélice disposée dans une cellule intermédiaire. Cette forme peut être aussi calculée à partir de l'équation (1). Le flux de liquide diminue momentanément quand la pale passe au regard du dispositif d'introduction ou d'évacuation du liquide. Ces diminutions du flux se produisent de manière périodique. Les surfaces principales desdites pales ayant de préférence une courbure convexe au regard dudit dispositif d'introduction (ou d'évacuation) permettent de diminuer moins brusquement le courant de liquide passant à travers lesdits dispositifs et éviter ainsi un "coup de bélier". La forme proposée des pales permet de faire osciller le flux de liquide en agissant sur le débit (et, donc, la vitesse linéaire) dudit liquide dans l'appareil de séparation. Afin d'améliorer l'effet d'élimination des matières en suspension de la zone adjacente à la surface membranaire dans la cellule extrême, la courbure de la surface principale, qui fait face à la membrane, peut être diminuée par rapport à la courbure de la face opposée. La phase du positionnement de l'hélice dans chacune des cellules extrêmes l'une par rapport à l'autre peut varier entre 0 et 180 °.

Afin de générer les oscillations dans chaque cellule intermédiaire de l'appareil de séparation on propose, en outre, d'utiliser une autre construction de l'hélice qui possède des pales ayant un bord externe décrit par le rayon R_p dont la longueur est inférieure à la longueur, décrite par le rayon R , entre l'axe central et le point extrême de ce bord le plus éloigné de ledit axe central, ledit point décrivant le cercle ayant ledit rayon R lors de la rotation de ladite hélice. Chaque pale de cette hélice comprend deux surfaces principales lesquelles font face à la membrane correspondante, lesdites surfaces principales étant limitées par un bord d'attaque et un bord de fuite biseautés courbés de préférence suivant une spirale conformément à l'équation (1). Ledit bord externe ayant la forme d'un arc

étant non-coaxial à l'axe principal de l'arbre et à celui de l'enceinte de l'appareil. Ledit rayon R_p ayant le point de départ qui se trouve de préférence sur la médiane de l'arc formant ledit bord externe de la pale, ladite médiane traversant l'axe de rotation de l'hélice. Puisque le rayon R_p doit toujours avoir la longueur inférieure à celle du rayon R , la courbure du bord externe de la pale de l'hélice reste plus importante que celle du cercle entourant les pales et décrit par l'extrémité du bord externe de la pale lors de la rotation de l'hélice. Le rapport R_p/R est compris entre 0,1 et 0,99, de préférence entre 0,7 et 0,95.

Une cellule intermédiaire est munie de préférence d'au moins un dispositif périphérique d'évacuation du liquide fixé dans la paroi annulaire de ladite cellule et ayant son axe principal qui forme un angle par rapport à un axe de position du centre d'ouverture dans ladite paroi annulaire compris entre 0° et 90° . Ledit dispositif périphérique d'évacuation ayant ledit angle est incliné de préférence dans le sens de rotation de l'hélice. L'ouverture dudit dispositif situé dans la paroi annulaire est adjacente à ladite extrémité du bord externe de la pale.

Une augmentation ou une diminution du débit du liquide dans la cellule intermédiaire se fait de manière périodique au fur et à mesure que l'hélice, installée sur l'arbre plein ou creux, tourne autour de son axe de rotation et permet d'obtenir ainsi dans chaque cellule intermédiaire de l'appareil des oscillations de flux de liquide. Afin de fonctionner correctement, le nombre de pales de l'hélice de cette dernière construction doit être de préférence égal au nombre de dispositifs périphériques d'évacuation du liquide si le nombre desdits dispositifs d'évacuation est supérieur à un. L'angle formé entre les lignes de position de l'extremum sur le bord externe de chaque pale doit être égale à l'angle formé entre les axes de positionnement du centre des ouvertures des dispositifs périphériques d'évacuation. Quand ces conditions sont maintenues, les oscillations de flux de liquide dans la cellule concernée obéissent à une loi périodique dont la fréquence est égale à la fréquence de mouvement rotatif de l'hélice multipliée par le nombre de pales.

Les pales se trouvant en mouvement continu au voisinage de la couche sélective des membranes et ayant les deux bords latéraux courbés suivant une spirale ont pour rôle:

A. D'engendrer un mouvement rotatif du liquide en lui donnant une vitesse élevée dans l'interstice de fonctionnement et en faisant cette vitesse plus uniforme sur toute la surface de la membrane ;

B. De diminuer les pertes d'énergie dans ledit interstice de fonctionnement ;

C. De servir comme un des moyens de génération d'oscillations du liquide (les deux hélices extrêmes) à l'entrée dans l'appareil de séparation et à la sortie dudit appareil. Ces deux hélices extrêmes peuvent avoir un nombre de pales identique ou différent par rapport aux hélices intermédiaires de l'appareil de séparation et l'une par rapport à l'autre.

5 La première surface principale desdites hélices extrêmes, qui fait face à la membrane, sert pour empêcher le colmatage de celle-ci. La deuxième surface principale desdites hélices extrêmes sert pour la génération d'oscillations de liquide et les pales elles-mêmes servent d'interrupteur du jet dudit liquide. La vitesse de rotation de l'hélice détermine la fréquence des oscillations, tandis que le nombre et la largeur des pales au niveau du rayon où se
10 trouve un axe des dispositifs d'introduction et d'évacuation du liquide déterminent à la fois la fréquence et l'amplitude des oscillations. Lesdites hélices extrêmes peuvent être fixées sur l'arbre de l'appareil de séparation de manière à être en phase ou en différence de phase l'une par rapport à l'autre. La distance entre l'ouverture du dispositif d'introduction et/ou d'évacuation et la surface principale de la pale étant réglable ou fixe.

15 D. De servir comme un moyen de générer la vibration des membranes fixées sur les surfaces principales des chambres de perméat, lesdites chambres ayant une forme de disque de faible épaisseur. De chaque côté du support poreux constituant lesdites chambres se trouve une hélice, ayant au moins deux pales et étant en rotation. S'il y a un décalage entre les phases des deux hélices entourant la même chambre de perméat, il
20 existe un gradient local de la pression de part et d'autre de ladite chambre de perméat. Ledit gradient se varie suivant le mouvement des hélices et engendre ainsi une vibration de ladite chambre de perméat et des membranes.

E. De servir comme moyen de générer des oscillations du flux de liquide au niveau de l'interstice de fonctionnement au moyen de l'interruption momentanée et
25 périodique de la sortie dudit liquide à travers au moins un dispositif d'évacuation situé dans la paroi annulaire de chaque cellule. La distance entre l'ouverture du dispositif périphérique d'évacuation du liquide et l'extremum du bord externe de la pale étant réglable ou fixe.

La distance entre la surface de la membrane et la surface principale d'une pale
30 d'hélice (c'est-à-dire, la largeur de l'interstice de fonctionnement) peut être constante le long d'un rayon et de la ligne de circonférence de l'hélice ou peut varier le long des ces lignes. Dans ce dernier cas l'angle entre la surface de la membrane et la surface principale de la pale est compris entre 0 et 30 °.

La réalisation d'un corps rotatif ayant une forme d'hélice contenant au moins deux pales par rapport à un disque plat ou un disque à rainures ou à saillies (radiales, concentriques ou spirales) a plusieurs avantages : a) de diminuer les forces de frottement entre la surface du corps rotatif et le liquide et, ainsi, d'abaisser les pertes d'énergie et, donc, de diminuer le réchauffement du liquide pendant le fonctionnement de l'appareil de séparation tout en préservant la vitesse nécessaire pour le cisaillement efficace de la surface de membrane par le courant de liquide ; b) d'ajouter une seconde composante dans le mouvement non-stationnaire périodique agissant sur le support semi-fixe qui engendre un mouvement vibratoire dans les membranes ; c) d'ajouter une troisième composante dans le mouvement non-stationnaire périodique du liquide au moyen de la fermeture partielle momentanée et périodique du dispositif d'évacuation dudit liquide situé dans chaque cellule de l'appareil de séparation dans sa paroi annulaire. La combinaison de ces mouvements non-stationnaires périodiques permet de réduire la vitesse de déposition des matières sur la membrane et/ou d'améliorer leur enlèvement de la surface de la membrane.

Une chambre de perméat est constituée d'un support poreux qui comprend au moins un disque poreux dont les faces principales sont couvertes par les membranes, fabriquées en général en polymère, et lequel disque est muni d'un trou au centre pour enfiler un arbre et laisser passer le liquide autour des anneaux centraux des hélices. Ledit support peut être aussi composé d'une matière poreuse suffisamment rigide du type symétrique, asymétrique et/ou composite dont la (ou les) surface(s) principale(s) est (sont) couverte(s) par une couche sélective. Le disque poreux est de préférence en poudre métallique frittée. Il peut aussi être en céramique et/ou en métallo-céramique. Il peut aussi être couvert par une couche sélective en polymère et/ou en céramique et/ou en métallo-céramique liée au support. La taille des pores d'un disque poreux varie entre 1 et 500 micromètres et le taux de porosité entre 5 et 80 %. Il est essentiel que, d'une part, la résistance à l'écoulement du perméat soit minimale et, d'autre part, la taille des pores ne détériore pas la structure et l'intégrité de la membrane utilisée, même sous une pression différentielle importante. Dans le même temps le taux de porosité dudit disque poreux doit être optimal afin de maintenir la rigidité du support qui doit être suffisante pour les conditions particulières de fonctionnement.

Le perméat sort de ladite chambre à travers le bord externe et à travers la partie de la surface principale adjacente au ledit bord externe puis il peut être collecté dans une cuve ou sortir par un dispositif installé dans le carter qui entoure chaque chambre. Le

support est pourvu d'un bord interne coaxial audit bord externe, ledit bord interne réserve un espace par lequel est enfilé un arbre. Ce bord interne et la portion des membranes en contact avec ledit bord sont étanchéifiés. Chacune desdites chambres est fixée au niveau de sa périphérie extérieure à la paroi annulaire des cellules adjacentes, formant l'enceinte de l'appareil de séparation, et reste libre au niveau de sa partie centrale.

On peut utiliser comme chambre de perméat un seul disque couvert sur chacune de ses faces par une membrane ou par une couche sélective liée aux dites faces. Dans ce cas la chambre de perméat est constituée de pores se trouvant à l'intérieur du disque poreux et le liquide entre dans ladite chambre en traversant la membrane, ensuite il coule à travers les pores à l'intérieur du disque poreux en se dirigeant vers le bord externe au niveau duquel il sort de l'appareil de séparation. Le cas d'utilisation d'un seul disque poreux comme chambre de perméat peut être envisagé pour les procédés d'osmose inverse et/ou de nanofiltration et/ou, parfois, d'ultrafiltration, c'est-à-dire pour les procédés où les membranes ont une faible perméabilité.

Dans les cas de microfiltration et/ou, parfois, d'ultrafiltration, quand la perméabilité de la membrane est plus importante, on peut utiliser pour chambre de perméat au moins deux disques poreux. Afin de faciliter l'évacuation du perméat vers le bord externe dudit support on sépare lesdits disques poreux en empilant entre eux une grille, par exemple, ou un autre disque poreux. Cette grille ou disque interne ayant des pores d'une taille plus importante que celle des pores des supports externes. On peut aussi former des rainures radiales et/ou concentriques sur la face de chacun des disques externes opposée à celle couverte par la membrane et/ou sur les deux faces du disque interne. Dans ces cas, le perméat sort de préférence à travers le bord externe de la grille ou le bord externe dudit support interne ayant des gros pores ou encore étant mené par lesdites rainures.

Chaque membrane utilisée dans l'appareil de séparation se présente comme un disque ayant un trou au centre. Il n'y a aucune jonction entre les différentes membranes de chaque cellule ainsi qu'entre les différentes portions de la membrane, qui couvre chaque face du disque poreux, au-delà du bord externe et, donc, on évite ainsi la formation de zones de stagnation qui pourraient se former dans les endroits desdites jonctions. Les joints servant à l'étanchéité et situés près des bords externe et interne du support sont bien lavés par le courant tourbillonnaire du liquide généré par les corps rotatifs.

La taille des pores d_m de la couche sélective de la membrane utilisée dans l'appareil de séparation et la taille de pores D_s du support qui constitue une chambre de

perméat ont entre eux le rapport suivant : $D_s/d_m \geq 50$. L'épaisseur de la chambre de perméat est comprise entre 0,5 et 10 millimètres, de préférence entre 1 et 5 millimètres.

L'enceinte de l'appareil de séparation présente une symétrie axiale par rapport à l'arbre. Ce dernier est constitué d'un matériau soit et préférentiellement plein, soit creux
5 dans la partie qui se trouve à l'intérieur de l'appareil et qui est en contact avec le liquide. Dans le cas de l'arbre creux, le liquide entre sous pression dans l'appareil de séparation à travers un dispositif commun d'introduction et/ou à travers un dispositif axial d'introduction, s'écoule autour et/ou à l'intérieur de l'arbre et remplit les différentes cellules y compris les interstices de fonctionnement. Ledit arbre creux contenant au
10 moins un canal radial réalisé dans sa paroi au niveau de chaque support poreux et servant pour introduire le liquide dans chacun des interstices de fonctionnement. Chacun des corps rotatifs comportant un anneau central, ledit anneau ayant au moins un canal radial servant aussi pour introduire le liquide dans chacun des interstices de fonctionnement. Lesdits canaux de l'anneau central coïncident dans leur position avec les canaux de l'arbre
15 creux. Chaque cellule interne est munie d'au moins un dispositif périphérique d'évacuation du liquide. Aux extrémités de l'appareil de séparation pourvu d'un arbre creux sont disposées des cellules extrêmes constituées d'un corps rotatif extrême et d'une seule membrane, d'une part dudit corps rotatif, et d'un dispositif d'introduction du liquide (ou dispositif d'évacuation dudit liquide), de l'autre part dudit corps rotatif. Les corps
20 rotatifs desdites cellules extrêmes ayant aussi une forme d'hélice jouent un rôle supplémentaire par rapport à ceux placés dans les cellules intermédiaires.

Un dispositif d'introduction du liquide est placé au voisinage du plan de rotation desdites hélices extrêmes. L'interruption du jet dudit liquide par les pales en mouvement rotatif génère des oscillations du flux dudit liquide dans tout l'appareil de séparation. Le
25 même rôle peut être joué par l'autre hélice située dans l'autre cellule extrême. Dans ce cas aussi l'interruption du jet de sortie du liquide par les pales en mouvement rotatif génère une oscillation du flux dudit liquide dans tout l'appareil de séparation. Ces deux hélices placées dans lesdites cellules extrêmes de l'appareil de séparation peuvent être en phase l'une par rapport à l'autre, en contre phase ou présenter toute autre différence de phase.
30 Ainsi, on peut avoir plusieurs possibilités de génération des conditions oscillatoires dans le liquide continu dans l'appareil de séparation.

Une autre source des oscillations du liquide réside dans l'interruption intermittente et périodique du flux dudit liquide qui sort à travers au moins un dispositif périphérique d'évacuation situé dans la paroi annulaire qui entoure chaque cellule intermédiaire de

l'appareil de séparation à l'arbre creux. La diminution du rayon de la courbure du bord externe de la pale par rapport à la courbure de la ligne de circonférence de l'hélice résulte en génération efficace des conditions oscillatoires dans le liquide au niveau de l'interstice de fonctionnement de la cellule correspondante.

5 Les conditions oscillatoires créées dans l'appareil de séparation à l'arbre creux ont une influence sur les membranes utilisées. En effet, les membranes sont posées sur les supports poreux ayant une forme de disque d'une épaisseur qui varie de 0,5 à 10 millimètres en formant ainsi les chambres de perméat. De plus, le bord interne desdites
10 chambres n'est pas fixé et de ce fait facilite une mise en vibration desdites chambres de perméat et, donc, des membranes qui recouvrent les faces principales desdits supports. L'onde qui se forme dans le liquide sous l'effet des oscillations causées par au moins une hélice des cellules extrêmes, se propage d'une cellule extrême de l'appareil de séparation à l'autre cellule extrême en traversant consécutivement chaque cellule intermédiaire dudit appareil. Il existe donc un gradient local de la vitesse et de la pression de part et
15 d'autre de chaque chambre de perméat. Ce gradient varie périodiquement et met en vibration les membranes.

Une autre source de vibration des membranes réside dans le positionnement des hélices des différentes cellules les unes par rapport aux autres. S'il y a un décalage dans les phases des hélices entourant la même chambre de perméat, il existe un gradient local
20 de la pression de part et d'autre de ladite chambre. Ledit gradient varie périodiquement en chaque point de la membrane et de leur support et génère ainsi les vibrations desdites membranes.

Lesdites conditions oscillatoires dans le liquide améliorent l'élimination des matières de la couche sélective de la membrane et permettent ainsi de maintenir pendant
25 une durée prolongée une perméabilité élevée. Il en résulte une réduction de la fréquence du lavage et du changement des membranes. La forme spiralée des pales des hélices rotatives permet, d'une part, d'empêcher le dépôt de particules sur la surface de la membrane, et, d'autre part, d'uniformiser la vitesse tangentielle sur toute la surface de la membrane. La superposition des différentes actions mentionnées ci-dessus qui s'exercent
30 sur le liquide engendre le nettoyage permanent et intensif de la couche sélective des membranes et retarde de façon efficace leur colmatage.

Selon la présente invention, on peut prévoir plusieurs modes de réalisation de l'appareil de séparation ayant les mêmes cellules et chambres de perméat.

Selon un premier mode de réalisation, l'appareil de séparation à membranes comprend :

- 5 - une enceinte cylindrique stationnaire divisée par des membranes en deux compartiments : le premier compartiment contenant le liquide et le deuxième compartiment contenant le perméat ;
- au moins quatre membranes plates installées sur deux supports poreux stationnaires de part et d'autre desdits supports, lesdits supports ayant la forme d'un disque avec un trou au centre ;
- 10 - au moins un dispositif commun d'introduction du liquide dans le premier compartiment, ledit dispositif situé dans la première paroi extrême de ladite enceinte entre l'arbre et le bord externe de ladite paroi étant en communication directe avec la première cellule extrême ;
- au moins un dispositif d'évacuation du liquide dans le premier compartiment, ledit dispositif est situé dans la deuxième paroi extrême entre l'arbre et le bord externe de
15 ladite paroi extrême et/ou dans la paroi annulaire qui entoure chaque cellule intermédiaire ;
- au moins un dispositif d'évacuation du perméat dans le deuxième compartiment, ledit dispositif situé sur le bord externe desdits supports poreux ;
- 20 - au moins trois corps disposés dans le premier compartiment au voisinage desdites membranes en formant des interstices de fonctionnement ; chacun desdits corps comportant un anneau central enfilé sur
- un arbre plein formant l'axe de ladite enceinte et inséré par un trou central réalisé dans lesdits membranes et supports et animé d'un mouvement de rotation qui entraîne lesdits corps en rotation en formant dans le liquide au niveau desdits interstices de
25 fonctionnement des vortex secondaires et des conditions oscillatoires ainsi que des mouvements vibratoires des membranes afin d'éviter ou d'atténuer leur colmatage et de maintenir leur perméabilité à un niveau élevé ; et
- un moyen de mise en rotation dudit arbre portant lesdits corps.

30 Bien entendu, on pourrait utiliser l'appareil de séparation selon ce premier mode de réalisation en introduisant le liquide dans les dispositifs disposés dans la deuxième paroi extrême et/ou dans la paroi annulaire de chaque cellule intermédiaire et en le récupérant à travers le dispositif commun disposé dans la première paroi extrême de l'enceinte.

Selon un second mode de réalisation, l'appareil de séparation à membranes comprend :

- 5 - une enceinte cylindrique stationnaire divisée par des membranes en deux compartiments : le premier compartiment contenant le liquide et le deuxième compartiment contenant le perméat ;
- 10 - au moins quatre membranes plates installées sur deux supports poreux stationnaires de part et d'autre desdits supports, lesdits supports ayant la forme d'un disque avec un trou au centre ;
- 15 - au moins un dispositif axial d'introduction du liquide dans le premier compartiment, ledit dispositif situé dans la première paroi extrême de ladite enceinte à l'extrémité de l'arbre creux ;
- au moins un dispositif d'évacuation du liquide dans le premier compartiment, ledit dispositif est situé dans la deuxième paroi extrême entre l'arbre et le bord externe de ladite paroi extrême et/ou dans la paroi annulaire qui entoure chaque cellule intermédiaire ;
- au moins un dispositif d'évacuation du perméat dans le deuxième compartiment, ledit dispositif situé sur le bord externe desdits supports poreux ;
- 20 - au moins trois corps disposés dans le premier compartiment au voisinage desdites membranes en formant des interstices de fonctionnement ; chacun desdits corps comportant un anneau central ; ledit anneau de chaque corps ayant au moins un canal radial servant pour introduire le liquide dans chacun des interstices de fonctionnement ; lesdits corps enfilés sur
- 25 - un arbre creux formant l'axe de ladite enceinte et inséré dans un trou central réalisé dans lesdits membranes et supports et animé d'un mouvement de rotation continue qui entraîne lesdits corps en rotation en formant dans le liquide au niveau desdits interstices de fonctionnement des vortex secondaires et des conditions oscillatoires ainsi que des mouvements vibratoires des membranes afin d'éviter ou d'atténuer leur colmatage et de maintenir leur perméabilité à un niveau élevé ; ledit arbre creux contenant au moins un canal radial réalisé dans sa paroi au niveau de chaque support poreux et servant pour
- 30 introduire le liquide dans chacun des interstices de fonctionnement ; lesdits canaux de l'anneau central des corps coïncident dans leur position avec les canaux de l'arbre creux ;
- et
- un moyen de mise en rotation dudit arbre portant lesdits corps.

Bien entendu, on pourrait utiliser l'appareil de séparation selon ce second mode de réalisation en introduisant le liquide dans les dispositifs disposés dans la deuxième paroi extrême et/ou dans la paroi annulaire de chaque cellule et en le récupérant à travers le dispositif axial d'évacuation disposé dans la première paroi extrême de l'enceinte à l'extrémité de l'arbre creux.

Selon un troisième mode de réalisation, l'appareil de séparation à membranes comprend :

- une enceinte cylindrique stationnaire divisée par des membranes en deux compartiments : le premier compartiment contenant le liquide et le deuxième compartiment contenant le perméat ;

- au moins quatre membranes plates installées sur deux supports poreux stationnaires de part et d'autre desdits supports, lesdits supports ayant la forme d'un disque avec un trou au centre ;

- au moins deux dispositifs d'introduction du liquide dans le premier compartiment, lesdits dispositifs situés dans la première paroi extrême de ladite enceinte cylindrique ; ledit premier dispositif est un dispositif commun d'introduction d'un liquide dans le premier compartiment, ledit premier dispositif situé entre l'arbre et le bord externe de ladite paroi extrême étant en communication directe avec la cellule extrême d'introduction du liquide ; ledit deuxième dispositif est un dispositif axial d'introduction du liquide dans le premier compartiment, ledit deuxième dispositif situé à l'extrémité de l'arbre creux ;

- au moins un dispositif d'évacuation du liquide dans le premier compartiment, ledit dispositif est situé dans la deuxième paroi extrême entre l'arbre et le bord externe de ladite paroi extrême et/ou dans la paroi annulaire qui entoure chaque cellule intermédiaire ;

- au moins un dispositif d'évacuation du perméat obtenu à partir dudit liquide dans le deuxième compartiment, ledit dispositif situé sur le bord externe desdits supports poreux ;

- au moins trois corps disposés dans le premier compartiment au voisinage desdites membranes en formant des interstices de fonctionnement ; chacun desdits corps comportant un anneau central ; ledit anneau de chaque corps ayant au moins un canal radial servant pour introduire le liquide dans chacun des interstices de fonctionnement ; lesdits corps enfilés sur

- un arbre creux formant l'axe de ladite enceinte et inséré par un trou central réalisé dans lesdits membranes et supports et animé d'un mouvement de rotation continue qui entraîne lesdits corps en rotation en formant dans le liquide au niveau desdits interstices de fonctionnement des vortex secondaires et des conditions oscillatoires ainsi que des mouvements vibratoires des membranes afin d'éviter ou d'atténuer leur colmatage et de maintenir leur perméabilité à un niveau élevé ; ledit arbre creux contenant au moins un canal radial réalisé dans sa paroi au niveau de chaque support poreux et servant pour introduire le liquide dans chacun des interstices de fonctionnement de l'appareil de séparation ; lesdits canaux de l'anneau central des corps coïncident dans leur position avec les canaux de l'arbre creux ; et

- un moyen de mise en rotation dudit arbre portant lesdits corps.

Bien entendu, on pourrait utiliser l'appareil de séparation selon ce troisième mode de réalisation en introduisant le liquide dans les dispositifs disposés dans la deuxième paroi extrême et/ou dans la paroi annulaire de chaque cellule et en le récupérant à travers les dispositifs axial et/ou commun d'évacuation disposés dans la première paroi extrême de l'enceinte.

Dans ces trois modes de réalisation de l'appareil de séparation, l'enceinte cylindrique stationnaire et l'arbre sont en position horizontale. On peut prévoir une construction de l'appareil selon l'un quelconque des modes décrits ci-dessus mais avec l'enceinte cylindrique et l'arbre dirigés verticalement. Dans cette construction verticale la cuve de collecte du perméat, le dispositif de fixation de l'arbre, et le dispositif commun d'introduction du liquide peuvent être disposés de préférence dans la paroi extrême basse de l'appareil, le dispositif commun d'évacuation et le dispositif axial d'introduction dudit liquide situés dans la paroi extrême haute. Cette construction verticale permet d'avoir un accès plus facile aux membranes pendant leurs installation et/ou leur remplacement.

Selon la présente invention, on peut de préférence éviter l'utilisation d'un arbre creux grâce à l'utilisation des hélices à pales. Dans ce cas le liquide entre dans l'appareil de séparation à travers le dispositif commun d'introduction, situé dans la première paroi extrême de l'appareil de séparation cylindrique, passe autour de l'arbre en utilisant pour cela les espaces entre-pales des hélices en entrant de même dans chaque cellule et donc dans chaque interstice de fonctionnement. Le rapport entre le courant qui passe le long de l'arbre et celui qui passe à travers chaque interstice peut être réglé au moyen des vannes connectées au dispositif commun d'évacuation et aux dispositifs périphériques d'évacuation du liquide.

Les objectifs de la présente invention sont atteints grâce à la superposition des mouvements rotatifs du liquide entraîné par les hélices, des mouvements radiaux dudit liquide et, enfin, des mouvements oscillatoires dudit liquide. Tous ces mouvements se superposent dans l'interstice de fonctionnement. Or lesdits mouvements forment, dans le

5 liquide se trouvant au voisinage de la couche sélective de la membrane, les conditions qui produisent un effet favorable à une atténuation ou même à une prévention de dépôt sur la membrane. En outre, lesdites oscillations existant dans le liquide génèrent des mouvements de vibration de la membrane elle-même, ce qui permet d'éviter une accumulation voire d'extraire les matières qui ont pénétrées dans les pores de la

10 membrane. Lesdites conditions oscillatoires dans le liquide, provoquant un mouvement vibratoire de la membrane, peuvent être distinguées par leur origine : a) les ondes qui se propagent à travers l'appareil de séparation d'une cellule à l'autre et qui se forment grâce à la rotation des hélices extrêmes au regard du dispositif commun d'introduction du liquide et/ou au regard du dispositif commun d'évacuation du liquide ; b) les ondes qui se

15 forment dans chaque cellule au moyen d'une hélice à pales qui interrompt momentanément et périodiquement le courant de liquide dans ladite cellule ; le volume de propagation de ces dernières ondes est essentiellement limité au volume de ladite cellule.

Les conditions oscillatoires dans le liquide au niveau de l'interstice de

20 fonctionnement de l'appareil de séparation ainsi que les vibrations des membranes aident à :

- modifier la transition entre le régime laminaire et le régime turbulent dans ledit interstice ;
- la migration des matières en suspension et la diffusion des (macro)molécules de

25 la couche sélective de la membrane vers le milieu de l'interstice de fonctionnement ;

- changer le profil transversal de vitesse du liquide existant dans l'interstice de fonctionnement de chaque cellule de façon à rapprocher les couches dudit liquide possédant la vitesse maximale vers la couche sélective de la membrane ; cet effet mène à une augmentation importante du gradient de vitesse existant au voisinage de la couche

30 sélective de membrane, favorisant ainsi l'atténuation de colmatage.

Le fonctionnement de l'appareil de séparation à membrane proposé dans la présente invention nécessite peu ou presque pas de lavage. L'optimisation des paramètres hydrostatiques (pression) et hydrodynamiques (débit de liquide dans l'appareil, composants de la vitesse dans l'interstice de fonctionnement), de la fréquence et de

l'amplitude des oscillations de chaque liquide à traiter ainsi que des paramètres de mouvements vibratoires des membranes, adaptées pour le traitement dudit liquide à traiter, permet de maintenir la perméabilité des membranes à un niveau élevé pendant une durée prolongée. En général, il existe un minimum d'amplitude (exprimée en volume de
5 liquide transféré pendant une période d'oscillation) dont le dépassement mène à l'absence d'effet positif sur la perméabilité et le comportement temporel de la membrane. Cette limite minimale est égale au dixième du volume de liquide qui se trouve dans chaque interstice de fonctionnement. La fréquence d'oscillation de liquide doit être comprise entre 0,1 et 1000 Hz, de préférence entre 1 et 400 Hz. Les différentes actions périodiques
10 générées simultanément dans l'appareil de séparation et dans chaque cellule dudit appareil doivent avoir de préférence un déphasage étant non en quadrature l'une par rapport à l'autre pour éviter la formation de zones stagnantes.

Pour réaliser les oscillations du liquide dans l'appareil on peut utiliser, en outre de l'hélice à pales, des vannes, des pompes et autres dispositifs à piston, des pompes
15 péristaltiques etc. Lesdites vannes peuvent être installées en amont et/ou en aval de l'appareil de séparation ; lesdites pompes sont installées, en général, en amont de l'appareil de séparation.

Selon l'invention, afin de baisser encore plus fortement la polarisation de concentration en osmose inverse, nano- et ultrafiltration, diminuer ou éviter l'apparition
20 de la couche d'adsorption et/ou d'un phénomène d'obturation des pores en micro- et ultrafiltration, on peut utiliser un champ électrique appliqué de part et d'autre de chaque membrane dans l'appareil de séparation. Pour cela on utilise comme électrodes opposées une hélice et un support métallique poreux de la membrane. Lesdites électrodes sont, de préférence, couvertes par une couche d'argent et/ou de platine. La tension du champ
25 électrique peut être continue ou alternative ou encore du type pulsionnel. L'application du champ électrique en utilisant un courant continue dont l'application varie dans le temps de façon discontinue est préférable. Dans ce cas la tension du champ est constante pendant la durée préchoisie et baisse ensuite jusqu'à la valeur minimale ou même jusqu'à zéro. Au bout de cette "période morte" la tension apparaît de nouveau.

30 Il existe un seuil minimum de la tension de champ électrique qui est égale en général à une force de convection existante dans chaque interstice de fonctionnement en raison de la pression différentielle appliquée de part et d'autre de la membrane. Ladite force entraîne les composants qui ne peuvent pas passer à travers les pores de la membrane, à être déposés sur la couche sélective de celle-ci. Une autre cause possible

dudit seuil est une résistance électrique de l'interstice de fonctionnement et du milieu filtrant. Afin d'obtenir les meilleurs résultats de fonctionnement de l'appareil de séparation, il faut utiliser un champ électrique ayant une tension au-dessus dudit seuil. Selon la présente invention, la tension du champ électrique continu au-delà dudit seuil est comprise entre 500 et 50000 V/m. Le rapport entre la durée d'application de ladite tension et la durée de la période morte est compris entre 0,1 et 50.

La présente invention concerne également un système de séparation qui comprend :

- un appareil de séparation à membranes ;

- au moins un dispositif de formation de la pression différentielle de part et d'autre des membranes, ledit dispositif est situé de préférence en amont de l'appareil de séparation dans la conduite d'introduction du liquide dans ledit appareil et/ou dans la conduite du perméat ;

- au moins un dispositif de régulation de la pression et du débit situé en aval de l'appareil de séparation dans la conduite de circulation du liquide ;

- des cuves de concentration du liquide à traiter, de réception du perméat, de purge du concentrat, de stockage d'une solution de lavage ;

- des moyens de distribution du liquide dans les cellules soit en série, soit en parallèle, soit en combinant les deux ;

- des moyens d'optimisation des paramètres hydrostatiques (pression) et hydrodynamiques [débit de liquide dans l'appareil, composants (rotatif et radial) de la vitesse dans chacun des interstices de fonctionnement] ; parmi lesdits moyens peuvent être indiqués le moteur avec le système de transmission, les hélices intermédiaires et extrêmes, les vannes, les pompes ;

- des moyens de régulation du rapport entre le débit de la purge du concentrat et le débit du perméat ; comme moyens peuvent être utilisés, par exemple, les débitmètres à signal électrique ;

- au moins un échangeur de chaleur disposé dans la boucle de circulation du liquide et/ou au moins un échangeur de chaleur placé dans la cuve de concentration ; lesdits échangeurs sont destinés pour stabiliser la température du liquide ;

- au moins un sous-système de lavage de l'appareil de séparation ;

- au moins un sous-système de prétraitement du liquide avant de l'injecter dans ledit appareil de séparation ;

- des moyens de régulation et/ou d'enregistrement des paramètres des liquides et des paramètres de fonctionnement.

Le liquide est préparé dans la cuve de concentration à partir du liquide à traiter au moyen de l'élimination du perméat dudit liquide à traiter dans l'appareil de séparation. Le perméat est dirigé vers la cuve de réception du perméat. Le liquide à traiter est introduit dans la cuve de concentration à travers, de préférence, le régulateur de niveau. Cette étape est la phase de concentration du liquide à traiter. La présence de la cuve de concentration permet au système de séparation de fonctionner en continu en traitant un volume important du liquide à traiter. Bien entendu, on pourrait utiliser ce système en traitant le liquide à traiter en discontinu, c'est-à-dire par bâchées dont le volume est égal à celui de la cuve de concentration. Ladite phase de concentration est caractérisée par la fermeture de la vanne de purge du concentrat. Le liquide se concentre en circulant sous pression à travers la boucle de circulation. Cette phase de concentration dure jusqu'à l'obtention du taux de concentration souhaité. Dès que ledit taux de concentration est atteint la vanne de purge du concentrat s'ouvre et la pompe de purge du concentrat se met en marche pour évacuer le concentrat du système vers la cuve de purge du concentrat. A partir de ce moment commence la phase de séparation. Le débit de purge du concentrat évacué dans la cuve de purge du concentrat est mesuré par un débitmètre installé dans la conduite de purge. Pour maintenir la constance du taux de concentration, le débit de purge du concentrat doit rester proportionnel au débit du perméat évacué dans la cuve de réception du perméat et mesuré par un débitmètre. Le coefficient de proportionnalité est donné au début du processus de séparation. Cette constance du taux de concentration doit être préservée pendant toute la durée de la phase de séparation du liquide. Pour cela les débitmètres installés dans la conduite de perméat et la conduite de purge du concentrat sont reliés aux pompes respectives en régulant les débits desdites pompes suivant des rapports de proportionnalité souhaités. Comme pompe on peut utiliser, par exemple, une pompe à piston à signal proportionnel qui gère le débit du concentrat de façon proportionnelle à celui du perméat.

Le bilan hydraulique dans le système de traitement se maintient correctement de la façon la plus simple au moyen d'un régulateur de niveau disposé dans la cuve de concentration du liquide à traiter. Grâce à ce régulateur l'ajout du liquide à traiter dans la cuve de concentration suit la somme des débit de purge du concentrat et du perméat.

Plusieurs capteurs disposés dans les conduites et les cuves du système de séparation permettent de suivre l'évolution des paramètres des liquides, par exemple : concentration, pH, température, pression, conductivité etc.

Le système de séparation des liquides peut inclure plusieurs autres composants
5 comme, par exemple, un sous-système de stérilisation de l'appareil de séparation, un sous-système de préfiltration pour la clarification du liquide à traiter avec son propre sous-système de lavage, une boucle de circulation ayant une pompe de circulation dans laquelle boucle le liquide circule sous la pression de fonctionnement de l'appareil de séparation, une pompe d'aspiration du perméat, des pressostats pour maintenir le
10 fonctionnement du système dans la gamme de pression souhaitée, des automatismes et un système de supervision. Si cela est nécessaire, le sous-système de prétraitement du liquide à traiter peut aussi être inclus dans le système de traitement et peut contenir une ou plusieurs phases de précipitation, de coagulation, d'adsorption, de micellisation. Tous les capteurs peuvent être reliés à des automates programmables qui commandent les
15 machines (pompes, vannes, moteurs) et sont eux-mêmes supervisés par un ordinateur à partir duquel on peut modifier les réglages de commande.

Selon l'invention, le système de séparation est universel et peut s'appliquer pour la micro-, ultra-, et/ou nanofiltration ainsi que pour l'osmose inverse à basse pression. Dans tous lesdits cas on peut utiliser le liquide à traiter sans aucun prétraitement ou avec un
20 faible prétraitement (préfiltration grossière) pour éviter la détérioration de la couche sélective des membranes par les grosses particules. Ledit système peut être installé en poste fixe ou rendu mobile.

La présente invention concerne également le procédé de séparation du liquide à traiter, d'une part en un perméat ou filtrat dépourvu d'une partie ou de la totalité des
25 matières qui ne peuvent pas passer à travers les pores de la membrane, et d'autre part en un concentrat enrichi en lesdites matières, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- introduire le liquide à traiter dans le système de séparation contenant l'appareil de séparation à membranes par l'intermédiaire de la cuve de concentration qui sert pour la concentration dudit liquide à traiter et, donc, pour la préparation du liquide ;
- 30 - mettre en rotation les hélices dans chacune des cellules en augmentant la pression dans l'appareil de séparation jusqu'à la pression différentielle de fonctionnement;
- au moyen de la fermeture ou de l'ouverture d'au moins un dispositif d'évacuation du liquide situé dans chaque cellule intermédiaire, distribuer le liquide en série et/ou en parallèle dans les différentes cellules de façon à atteindre le taux de concentration

souhaité de la manière la plus optimale du point de vue du régime thermique dudit liquide;

5 - optimiser les paramètres hydrostatiques (pression) et hydrodynamiques [débit de liquide dans l'appareil, composants (rotatif et radial) de la vitesse dans l'interstice de fonctionnement] ;

 - choisir la meilleure variante de génération des oscillations (leur amplitude et leur fréquence) de liquide dans l'appareil de séparation du point de vue de l'atténuation maximale du colmatage des membranes qui va dépendre des propriétés desdites membranes et de celles du liquide à traiter ;

10 - superposer de façon optimale les mouvements tourbillonnaires du liquide dans l'interstice de fonctionnement avec les mouvements oscillatoires ainsi qu'avec les mouvements vibratoires des membranes, en conduisant à la résistance maximale au colmatage des membranes ;

 - collecter le perméat et le concentrat séparément pour leur utilisation postérieure;

15 - faire les régulations et automatismes nécessaires et enregistrer des paramètres du système de séparation ainsi que superviser lesdits paramètres.

 Le liquide est refoulé sous pression dans le premier compartiment de l'appareil de séparation par au moins un dispositif commun d'introduction en remplissant toutes les cellules, y compris les interstices de fonctionnement, et il en est extrait par au moins un
20 dispositif commun d'évacuation du liquide. Afin de préserver les meilleures conditions dans l'interstice de fonctionnement pour la formation de tourbillons qui empêchent le colmatage de la membrane dans toutes les cellules de l'appareil de séparation, il faut, de préférence maintenir un rapport donné entre le débit de liquide qui sort du premier compartiment de l'appareil de séparation et le débit dudit liquide qui y entre. Ledit
25 rapport doit être compris entre 0,05 et 0,99, de préférence entre 0,7 et 0,9.

 Selon l'invention, on peut avoir différentes géométries de circulation du liquide à travers les cellules dans l'appareil de séparation.

 Une circulation en série du liquide a lieu quand ledit liquide entre dans l'appareil de séparation à travers le dispositif commun d'introduction, passe successivement toutes
30 les cellules de l'appareil et sort ensuite à travers le dispositif commun d'évacuation situé dans la deuxième paroi extrême de l'enceinte cylindrique. Dans ce cas les dispositifs périphériques d'évacuation, situés dans la paroi annulaire de chaque cellule, en général dans la zone supérieure, ne sont utilisés que pour laisser passer l'air pendant le remplissage de l'appareil de séparation par le liquide ; et les oscillations du flux de liquide

sont formées par les hélices situées dans les cellules extrêmes au regard des dispositifs d'introduction et d'évacuation du liquide.

Une circulation parallèle du liquide a lieu quand ledit liquide entre dans l'appareil de séparation à travers le dispositif axial d'introduction de l'arbre creux muni des canaux radiaux situés au niveau de chaque support poreux de l'appareil de séparation. Le liquide passe à travers l'arbre et chaque canal radial et entre directement dans chaque cellule. Dans la zone de circonférence de chaque cellule le liquide sort de l'appareil en utilisant les dispositifs périphériques d'évacuation. Dans ce cas les oscillations sont générées par les hélices situées dans chaque cellule de l'appareil de séparation.

Le troisième cas possible inclut la superposition des deux modes de circulation du liquide en série et en parallèle. Grâce à l'utilisation des hélices à pales le choix entre le courant sériel et parallèle et le rapport entre lesdits deux courants dans les différentes cellules de l'appareil de séparation peuvent être modulés.

Selon l'invention, comme procédés de séparation peuvent être la microfiltration, la ultrafiltration et/ou nanofiltration ainsi que l'osmose inverse à basse pression. Dans tous lesdits procédés on peut utiliser le liquide à traiter sans aucun prétraitement ou avec un faible prétraitement (préfiltration grossière) pour éviter la détérioration de la couche sélective des membranes par les grosses particules.

Brève description des dessins

L'invention, ainsi que les différents avantages qu'elle présente, seront mieux compris grâce aux exemples non limitatifs de réalisation de l'invention en référence aux dessins dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe longitudinale représentant de façon schématique un appareil de séparation conforme au premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 est une vue en coupe longitudinale représentant de façon schématique une chambre de perméat conforme à la première construction ;
- la figure 3 est une vue en coupe longitudinale représentant de façon schématique une chambre de perméat conforme à la deuxième construction ;
- la figure 4 est une vue en coupe longitudinale représentant de façon schématique une chambre de perméat conforme à la troisième construction ;
- la figure 5 est une vue en coupe longitudinale représentant de façon schématique un appareil de séparation conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 6 est une vue en coupe longitudinale représentant de façon schématique un appareil de séparation conforme au troisième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 7 est une vue en coupe longitudinale représentant de façon schématique un appareil de séparation conforme à la construction verticale du troisième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 8 est une vue de face d'une hélice intermédiaire de la première construction qui fonctionne dans une cellule intermédiaire d'un appareil de séparation ;
- la figure 9 est une vue en coupe transversale d'une pale de l'hélice intermédiaire qui correspond à une ligne 2-2 de coupe à la figure 8 ;
- la figure 10 est une vue de face représentant une hélice extrême qui fonctionne dans une cellule extrême d'un appareil de séparation ;
- la figure 11 est une vue en coupe d'une pale de l'hélice extrême de la première construction qui correspond à une ligne 4-4 de coupe sur la figure 10 au moment du passage au regard du dispositif commun d'introduction/d'évacuation du liquide ;
- la figure 12 est une vue en coupe d'une pale de l'hélice extrême de la deuxième construction qui correspond à une ligne 4-4 de coupe sur la figure 10 au moment du passage au regard du dispositif commun d'introduction/d'évacuation du liquide ;
- la figure 13 est une vue de face représentant une hélice intermédiaire de la deuxième construction qui fonctionne dans une cellule intermédiaire de l'appareil de séparation ;
- la figure 14 est une vue en coupe transversale de la cellule intermédiaire de l'appareil de séparation contenant une hélice intermédiaire de la deuxième construction et deux dispositifs périphériques d'évacuation du liquide ;
- la figure 15 illustre un diagramme schématique du système de séparation des liquides utilisant un appareil de séparation à membrane, ainsi qu'un sous-système de lavage des membranes.

Exposé détaillé des modes de réalisation

En se reportant à la figure 1, on va décrire la construction de l'appareil de séparation à membranes conforme au premier mode de réalisation de l'invention. L'appareil de séparation 1 comprend une enceinte cylindrique stationnaire 2 séparés par les membranes en deux compartiments. Le premier, compartiment 10, contient le liquide, le deuxième, compartiment 20, le liquide purifié, c'est-à-dire le perméat ou le filtrat. Ledit appareil de séparation comprend :

- au moins un dispositif commun 30 d'introduction du liquide fixé dans la première paroi extrême 3 entre l'arbre 12 et le bord externe de ladite paroi extrême, ledit dispositif 30 étant en communication avec la cellule extrême 8 d'introduction du liquide,

5 - au moins un dispositif commun d'évacuation du liquide 40 fixé dans la deuxième paroi extrême 4 entre l'arbre 12 et le bord externe de ladite paroi extrême, ledit dispositif 40 étant en communication avec la cellule extrême 9 d'évacuation du liquide, et

- au moins un dispositif d'évacuation du perméat 50 et/ou 73.

Dans chaque cellule intermédiaire 11 de l'appareil se trouve de préférence au moins un dispositif périphérique d'évacuation 41 du liquide. Le rapport entre le débit de
10 liquide à travers le dispositif 40 et la somme des débits de liquide à travers les dispositifs 41 détermine la relation entre les flux sériels et parallèles distribués parmi les différentes cellules 11 de l'appareil de séparation. La cuve 60 permet la collecte du perméat qui sort des différentes chambres de perméat 21 et qui peut être évacué à travers le dispositif de récupération du perméat 62. Les cellules 8, 9 et 11 et les chambres 21 sont
15 alternativement empilées autour de l'arbre plein 12. L'ensemble formant l'appareil de séparation 1 qui est constitué d'au moins trois cellules 8, 9 et 11 et d'au moins deux chambres de perméat 20. Les parois annulaires desdites cellules et les chambres ont toutes deux une forme de disque et s'inscrivent dans une même enceinte cylindrique 2. L'arbre pouvant être mis en rotation par un moteur 13 au moyen d'un système de
20 transmission 14. Chacune desdites cellules contient une hélice 15, 17, 18 fixée sur l'arbre plein 12 et mis en rotation à l'aide de cet arbre. Le moteur 13 ou un autre moyen de mise en rotation de l'arbre peut avoir une seule vitesse de rotation, plusieurs vitesses de rotation ou une vitesse de rotation peut être variable pendant le fonctionnement de l'appareil de séparation.

25 Le liquide est introduit dans l'appareil 1 au moyen du dispositif commun d'introduction 30 faisant face aux pales de l'hélice extrême 17 où le flux de liquide est soumis à une oscillation grâce à la rotation de ladite hélice. Le liquide est évacué de l'appareil au moyen du dispositif commun d'évacuation 40 faisant face aux pales de l'hélice extrême 18 où le courant de liquide est aussi soumis à l'oscillation grâce à une
30 rotation de ladite hélice. Ces oscillations se propagent dans tout l'appareil de séparation. Dans chaque cellule intermédiaire 11 le liquide est soumis à une oscillation grâce à une interruption partielle momentanée et périodique du flux dudit liquide quand la pale de l'hélice rotative 15 passe au regard du dispositif périphérique d'évacuation 41 situé dans la paroi annulaire de ladite cellule.

L'appareil de séparation comprend au moins une cellule intermédiaire 11 comportant deux membranes 22 de part et d'autre d'un corps 15 ayant une forme d'hélice. Le liquide se trouve en écoulement radial dans l'interstice de fonctionnement 16 formé entre la surface principale des pales de l'hélice 15 et la couche sélective de la membrane 22. Dès que ladite hélice est mise en rotation un mouvement rotatif du liquide se superpose à l'écoulement radial résultant en un écoulement spiralé : formation des vortex ou des tourbillons. Evidemment, les conditions oscillatoires qui seront imposées sur ledit écoulement spiralé forcent lesdits tourbillons à être toujours en mouvement non-stationnaire et à influencer plus profondément l'interface adjacente à la couche sélective de la membrane 22. Chacune des deux cellules extrêmes 8 et 9 contiennent respectivement les hélices 17 et 18 et une seule membrane, d'une part de ladite hélice, et un dispositif commun d'introduction 30 ou un dispositif commun d'évacuation 40, de l'autre part.

Sur la figure 2 est illustrée une vue en coupe longitudinale d'une chambre de perméat de la première construction constituée d'au moins un support poreux 71 ayant une forme de disque muni d'un trou au centre permettant d'insérer un arbre plein 12, les anneaux centraux 90 des hélices 15 et de laisser passer le liquide autour desdits anneaux. Le support poreux est de préférence en poudre métallique frittée. Il peut aussi être en céramique et/ou en métallo-céramique. Ledit support est couvert sur chacune de ses faces par la membrane 22 fabriquée de préférence en polymère.

La chambre de perméat est étanchéifiée au niveau de la paroi annulaire 78 des cellules adjacentes tout le long du bord externe 72 par deux joints 75 disposés sur la surface de la membrane au voisinage dudit bord de part et d'autre du support poreux 71. Le long du bord cylindrique interne 79, coaxial au dit bord externe 72, une étanchéité 76 est réalisée intégralement sur la butée du support ainsi que sur la portion annulaire interne, adjacente à ladite butée, de chacune des deux membranes. De cette façon le perméat ne peut sortir qu'à travers le bord externe 72 dudit support. Afin de faciliter l'évacuation du perméat on propose d'utiliser aussi une portion externe 77 de la surface principale du support poreux 71, ladite portion externe se trouve à la périphérie du joint 75.

On peut utiliser comme chambre de perméat un seul disque poreux couvert sur chacune de ses faces par une membrane ou par une couche sélective liée aux dites faces (voir figure 2). Dans ce cas la chambre de perméat est constituée de pores se trouvant à l'intérieur dudit disque et le liquide entre dans la chambre de perméat en traversant la

membrane, ensuite il coule à travers les pores à l'intérieur du disque poreux, se dirigeant vers le bord externe 72 où il sort de l'appareil de séparation 1, en général à travers le dispositif d'évacuation du perméat 73 inséré dans un carter 74 (le carter 74 et le dispositif 73 montrés, à titre d'exemple, sur une seule chambre de perméat de l'appareil représenté sur la figure 1). Ce carter est fabriqué de préférence en matériau élastique qui peut être serrée facilement autour de l'enceinte de l'appareil de séparation et qui ne doit supporter en général qu'une faible pression à l'intérieur. C'est le cas d'utilisation de l'appareil, muni des chambres de perméat de la première construction, pour les procédés d'osmose inverse et/ou de nanofiltration et/ou, parfois, d'ultrafiltration.

Dans les cas de microfiltration et dans certains cas d'ultrafiltration, où la perméabilité de la membrane est plus importante, on peut utiliser pour la chambre de perméat au moins deux disques poreux. Sur les figures 3 et 4, sont représentées des coupes longitudinales des chambres de perméat conformes respectivement à la deuxième et à la troisième construction. Sur ces figures, on a repris les mêmes références que sur la figure 2 pour représenter les éléments communs aux trois constructions. Ces deux constructions comprennent deux disques poreux externes 81 et 82 couverts sur leur face externe par les membranes 22. Afin de faciliter la sortie du perméat vers le bord externe dudit support on peut séparer les disques poreux par une grille 83 (figure 3), par exemple, ou par un disque poreux interne 84 (figure 4) ayant des pores de taille plus importante que celle des pores des disques 81 et 82. Dans ces deux dernières constructions, le perméat sort, de préférence à travers le bord externe 85 de la grille ou le bord externe 86 dudit support aux pores d'une taille plus importante.

Chaque membrane utilisée dans l'appareil de séparation 1 se présente comme un disque ayant un trou au centre. Elle se fixe de manière étanche au niveau du bord interne 79, 87 et 88 des supports de chaque construction par une étanchéité intégrale 76 et au niveau du bord externe par un joint 75 entre la membrane 22 et la paroi annulaire 78 de chaque cellule 8, 9 et 11.

Sur la figure 5, est représenté de façon schématique un appareil de séparation conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention. Sur cette figure, on a repris les mêmes références que sur la figure 1 pour représenter les éléments communs aux deux modes de réalisation de l'appareil de séparation à membranes.

Dans ce second mode de réalisation, l'appareil de séparation comprend un dispositif axial d'introduction 31 du liquide, ledit dispositif étant en communication avec l'arbre creux 19 est situé dans la première paroi extrême 3 de l'appareil 1. Pour introduire

le liquide dans chacune des cellules de l'appareil de séparation on utilise les canaux radiaux 32 fabriqués dans la paroi de l'arbre au niveau de chaque chambre de perméat et les canaux radiaux 33 fabriqués dans l'anneau central 90 de chacune des hélices. Les hélices sont disposées sur l'arbre de façon que lesdits canaux dans la paroi de l'arbre et dans les anneaux centraux des hélices coïncident. Le liquide sort de l'appareil de séparation à travers le dispositif commun d'évacuation 40 où le courant est soumis à des oscillations grâce à la rotation de l'hélice extrême 18. Dans chaque cellule intermédiaire 11 le liquide est soumis à des oscillations grâce à l'interruption partielle momentanée et périodique du flux dudit liquide quand les pales de l'hélice rotative 15 passent au regard du dispositif périphérique d'évacuation 41 situé dans la paroi annulaire de ladite cellule.

Sur la figure 6, est représenté de façon schématique un appareil de séparation conforme au troisième mode de réalisation de l'invention. Sur cette figure, on a repris les mêmes références que sur les figures 1 et 5 pour représenter les éléments communs aux trois modes de réalisation de l'appareil de séparation à membranes.

Dans ce troisième mode de réalisation, l'appareil de séparation comprend deux dispositifs d'introduction du liquide 30 et 31. Cet appareil de séparation représente une synthèse du premier et du deuxième mode de réalisation de l'invention et peut servir pour mieux régler le rapport entre les flux de liquide qui passent à travers chaque cellule de façon sérielle et de façon parallèle.

Bien que sur les figures 1, 5 et 6 soient représentés des dispositifs de séparation horizontaux (l'enceinte et l'arbre étant à l'horizontale), on pourrait réaliser un appareil de séparation à membranes disposé de façon verticale et qui est représenté à titre d'exemple sur la figure 7 (pour le troisième mode de réalisation). Sur cette figure, on a repris les mêmes références que sur les figures 1, 5 et 6 pour représenter les éléments communs aux trois modes de réalisation d'un appareil horizontal de séparation. Cette construction verticale du troisième mode de réalisation de l'invention permet d'organiser plus facilement l'accès aux membranes pendant l'installation et/ou le remplacement. Dans cette construction on peut de préférence introduire le liquide à travers le dispositif 30 situé en bas de l'appareil de séparation et/ou à travers l'arbre creux 19 en utilisant pour cela un dispositif axial d'introduction 31. Les vannes installées dans le système de séparation au voisinage des dispositifs d'évacuation du liquide 40 et 41 permettent de régler les courants sériel et parallèle de liquide parmi les cellules de l'appareil de séparation ainsi que de stabiliser le régime thermique du liquide dans l'appareil. Le perméat est collecté à l'aide de la cuve 63 pourvu du dispositif commun 64 de

récupération du perméat ou à l'aide du carter 74 entourant chaque chambre de perméat 21 et pourvu d'un dispositif d'évacuation 73 de perméat (le carter 74 et le dispositif 73 sont montrés, à titre d'exemple, sur une seule chambre de perméat).

Le liquide est introduit dans l'appareil de séparation conformément à ce troisième mode de réalisation au moyen du dispositif commun d'introduction 30 faisant face aux pales de l'hélice extrême 17 où le courant est soumis à des oscillations grâce à la rotation de ladite hélice. Le liquide est évacué de l'appareil 1 au moyen du dispositif commun d'évacuation 40 faisant face aux pales de l'hélice extrême 18 où le courant est aussi soumis à des oscillations grâce à la rotation de ladite hélice. Ces oscillations se propagent dans tout l'appareil de séparation. Dans chaque cellule intermédiaire 11 le liquide est soumis à des oscillations grâce à une interruption partielle momentanée et périodique du courant dudit liquide quand les pales de l'hélice 15 passent au regard du dispositif périphérique d'évacuation 41 situé dans la paroi annulaire de ladite cellule.

Selon l'invention, les corps rotatifs 15, 17 et 18 d'un appareil de séparation de la présente invention sont de préférence des hélices ayant au moins deux pales. Les figures 8 et 9 représentent une hélice intermédiaire de la première construction, ladite hélice étant située dans une cellule intermédiaire 11. Chaque pale 96 étant liée à l'anneau central 90 présente deux surfaces principales 91 et 92 faisant face chacune à la surface de la membrane correspondante. Lesdites surfaces principales sont limitées par un bord d'attaque 93 et un bord de fuite 94 biseautés et courbés suivant une spirale, et un bord de circonférence 95 inscrit dans un cercle déterminant le diamètre de ladite hélice et la longueur desdites pales.

La courbure du bord d'attaque 93 et du bord de fuite 94 est calculée de la manière suivante (voir la figure 8). Soit $N = k\pi$ est l'angle de serrage de chacun des deux bords latéraux déterminant la forme de chaque pale de l'hélice (k est un coefficient). Alors la forme du bord d'attaque et du bord de fuite d'une pale est décrite par l'équation (1).

Dans cette équation (1) et sur la figure 8, χ est un angle courant d'un bord 93 ou 94 déterminant chaque coté latéral de la pale ; m est un nombre entier déterminant (en unités de π/n) un angle de départ d'un bord par rapport à l'axe horizontal (abscisse) au centre du cercle enfermant les pales ; n est le nombre de pales. La valeur absolue de χ varie entre 0 et N . La Figure 8 montre à titre d'exemple une des constructions possibles de ladite hélice ayant trois pales disposées à 120° l'une par rapport à l'autre. La direction préférentielle de rotation de cette hélice est dans le sens des aiguilles d'une montre par

rapport au plan du dessin montré sur la figure 8. La coupe d'une pale, illustrée sur la figure 9, est caractérisée par le biseautage du bord d'attaque et du bord de fuite. Cela a pour résultat la diminution des pertes énergétiques pendant le mouvement rotatif de l'hélice.

5 Le nombre des pales n peut varier entre 2 et 12. De la même façon l'angle μ , angle entre le bord d'attaque et le bord de fuite, de chacune des pales varie entre 15 et 180°, alors que l'angle β entre le bord d'attaque d'une pale et le bord de fuite de la pale suivante peut varier entre 0 et 165°. Le rapport R/r entre le rayon R de la circonférence des pales et le rayon r du bord externe de l'anneau central 90 qui soutient lesdites pales, varie entre 3
10 et 15.

En se reportant aux figures 10 à 12, on va décrire l'hélice extrême utilisée dans les cellules extrêmes 8 et 9 (c'est-à-dire, l'hélice extrême 17 et l'hélice extrême 18 - voir la figure 1) de l'appareil de séparation 1. La figure 10 illustre à titre d'exemple ladite hélice à quatre pales 97. La courbure du bord d'attaque 93 et du bord de fuite 94 est similaire à
15 celle de l'hélice intermédiaire et peut être calculée à partir de l'équation (1).

Sur les figures 11 et 12, sont représentées des vues en coupe transversale d'une pale d'hélice extrême qui correspond à une ligne 4-4 de coupe sur la figure 10. Une pale de chaque construction comprend deux surfaces principales 111 et 112, 121 et 123. Les coupes suivant la ligne 4-4 ont été faites au moment du passage de la pale au regard du
20 dispositif commun d'introduction 30 ou d'évacuation 40 du liquide (l'exemple représenté sur ces figures montre une pale d'hélice au voisinage du dispositif commun d'introduction 30 du liquide). La distance minimale l entre la surface principale 112 ou 123 et l'orifice du dispositif 30 et/ou 40 peut être réglée. Le flux de liquide diminue momentanément quand la pale passe au regard dudit dispositif d'introduction ou d'évacuation du liquide.

25 Les surfaces principales 112 et 123 desdites pales ayant une courbure convexe face au dispositif d'introduction (ou d'évacuation) permettent de diminuer moins brusquement le courant de liquide passant à travers lesdits dispositifs. La forme proposée des pales permet de faire osciller le flux de liquide en agissant préférentiellement sur le débit (et, donc, la vitesse linéaire) dudit liquide dans l'appareil de séparation 1. Afin d'améliorer
30 l'effet d'élimination des matières en suspension de la zone adjacente à la surface membranaire, la courbure de la surface principale 121 de la pale, qui fait face à la membrane, peut être diminuée par rapport à celle de la face 123 de manière illustrée sur la figure 12.

Afin de générer les oscillations dans chaque cellule intermédiaire 11 de l'appareil de séparation on propose, en outre, d'utiliser une autre construction de l'hélice représentée sur la figure 13. Chaque pale 128 de cette hélice présente deux surfaces principales qui font face à la membrane correspondante, lesdites surfaces principales étant limitées par un bord d'attaque 93 et un bord de fuite 94 tous deux biseautés et courbés de préférence suivant la spirale décrite par l'équation (1), et un bord externe 133. L'extrémité 134, la plus éloignée de l'axe 126 de rotation de l'hélice, étant sur le bord externe 133 et ayant le rayon R_p , se trouve en même temps sur la ligne de circonférence 135 ayant le rayon R , laquelle ligne 135 se forme lors de la rotation de l'hélice. Ladite extrémité 134 se trouve de préférence sur la médiane 124 de l'arc formant le bord externe 133 de la pale 128, ladite médiane traverse l'axe 126 de rotation de l'hélice et le point 127 de départ du rayon R_p . Le rayon R_p est toujours plus petit que le rayon R . De même, la courbure du bord externe 133 de l'hélice est plus importante que celle de la ligne de circonférence 135.

En se reportant à la figure 14, on peut voir la même hélice à deux pales, représentée auparavant sur la figure 13, qui se trouve dans la cellule intermédiaire 11 de l'appareil de séparation 1 en coupe transversale. Cette hélice est entourée de la paroi annulaire 78 qui fait partie de l'enceinte 2 de l'appareil de séparation 1, ladite paroi 78 comportant deux dispositifs périphériques d'évacuation 41 du liquide. Entre le bord externe 133 de la pale et l'ouverture 138 du dispositif périphérique d'évacuation 41 existe un espace libre à travers lequel passe le liquide. Ladite ouverture se trouve sur l'axe 129. Durant le mouvement rotatif de l'hélice au moment où l'extrémité 134 de la pale se trouve le plus proche possible de l'ouverture 138 du dispositif périphérique d'évacuation 41, alors un minimum du débit du liquide passe à travers ledit dispositif d'évacuation. Ensuite, quand le point 134 s'éloigne de ladite ouverture 138 le débit du liquide augmente à nouveau. La courbure du bord externe 133 de la pale 128 permet d'augmenter le débit du liquide qui passe à travers le dispositif périphérique d'évacuation 41 de façon graduelle en évitant les coups brusques pendant l'écoulement dudit liquide. Augmentation et diminution du débit du liquide se font de manière périodique au fur et à mesure que l'hélice, installée sur l'arbre plein 12 ou creux 19 (la figure 14 représente à titre d'exemple un arbre plein 12), tourne autour de son axe de rotation 126 et permet de générer ainsi dans la cellule de l'appareil de séparation des oscillations du flux de liquide.

Afin de fonctionner correctement le nombre de pales 96 (voir figure 8) et/ou 128 (voir figures 13 et 14) de l'hélice des deux constructions doit être, en général, égal au nombre de dispositifs périphériques d'évacuation du liquide 41 si le nombre desdits

dispositifs d'évacuation est supérieur à un. L'angle formé entre les médianes 124 désignant la position de l'extremum 134 sur le bord externe 133 de chaque pale 128 doit être égal à l'angle entre les axes 129 sur lesquels se trouvent les ouvertures 138 des dispositifs périphériques d'évacuation du liquide 41 (les médianes 124 coïncident avec les axes 129 dans la configuration particulière donnée à titre d'exemple et représentée sur la fig. 14). Quand ces conditions sont maintenues, les oscillations du flux de liquide dans la cellule concernée obéissent à une loi périodique ayant une fréquence égale au double de la fréquence du mouvement rotatif de l'hélice représentée sur la figure 14. En cas général la fréquence des oscillations de flux dans chaque cellule est égale à un produit du nombre des pales à une fréquence de rotation de l'hélice.

Une cellule intermédiaire est munie d'au moins un dispositif périphérique d'évacuation 41 du liquide fixé dans la paroi annulaire 78 de ladite cellule et ayant son axe principal 125 qui forme un angle ϕ par rapport à l'axe 129 de position du centre d'ouverture dans ladite paroi annulaire. Ledit angle ϕ est compris entre 0° et 90° . Ledit dispositif périphérique d'évacuation ayant ledit angle est incliné de préférence dans le sens de rotation de l'hélice. Sur la figure 14, à titre d'exemple, il est représenté une coupe de la cellule portant deux dispositifs périphérique d'évacuation 41 tournés de façon différente par rapport à un axe 129.

La présente invention concerne également un système de séparation des liquides qui inclut l'appareil de séparation à membranes. Sur la figure 15, est représenté un diagramme schématique du système de séparation des liquides ainsi qu'un sous-système de lavage de membranes. Sur cette figure, on a repris les mêmes références que sur les figures 1, 5 et 6 pour représenter les éléments communs de l'appareil de séparation conforme au troisième mode de réalisation de l'invention. Cet appareil de séparation 1 comprend les dispositifs 30 et 31 d'introduction du liquide, connectés à la conduite d'introduction du liquide 151, ainsi que les dispositifs d'évacuation du liquide 40 et 41, connectés à la conduite de circulation du liquide 152 et à la conduite de purge du concentrat 172.

Le liquide à traiter est introduit dans la cuve 161 par la conduite 160. Le liquide est préparé à partir de liquide à traiter dans la cuve 161 de concentration du liquide à traiter au moyen de l'élimination du perméat, dirigé vers la cuve 162 de réception. Ladite élimination du perméat a lieu lors de la séparation dudit liquide sur les membranes installées dans l'appareil de séparation 1. Cette étape s'appelle la phase de concentration du liquide à traiter. La présence de la cuve 161 permet au système de séparation de

fonctionner en continu en traitant un volume important du liquide à traiter (ledit volume peut être beaucoup plus grand que celui de la cuve 161). Bien entendu, on pourrait utiliser ce système en traitant le liquide à traiter en discontinu, c'est-à-dire par bâchées dont le volume peut être égal à celui de la cuve 161. Ladite phase de concentration est

5 caractérisée par la fermeture de la vanne de purge du concentrat 171 installée sur la conduite 172 de purge du concentrat. Le liquide se concentre en circulant sous pression à travers la boucle (conduites 151 et 152) grâce à l'ouverture de la vanne d'aspiration 150 du liquide, de la vanne commune d'introduction 149 du liquide et/ou de la vanne axiale d'introduction 148 du liquide, de la vanne commune d'évacuation 170 du liquide et/ou de

10 la vanne périphérique d'évacuation 145 du liquide. Cette phase de concentration dure jusqu'à l'obtention du taux de concentration souhaité. Dès que ledit taux de concentration est atteint, la vanne de purge 171 du concentrat s'ouvre et la pompe 173 se met en marche pour évacuer le concentrat du système vers la cuve de purge 175 du concentrat. A partir de ce moment commence la phase de séparation. Le débit de purge du concentrat évacué

15 dans la cuve 175 est mesuré par un débitmètre 174. Pour maintenir le taux de concentration au niveau constant, le débit de purge du concentrat déterminé par la pompe 173 doit rester proportionnel au débit du perméat évacué mesuré par le débitmètre 164 , et déterminé par la pompe 168 en aval du dispositif commun de récupération 62 sur la conduite du perméat 163. Le coefficient de proportionnalité est donné au début du

20 processus de séparation. Ce niveau constant du taux de concentration doit être préservée pendant toute la durée de la phase de séparation du liquide. Pour cela les débitmètres 164 et 174 sont reliés aux pompes 168 et 173 par un circuit 176 qui permet de contrôler lesdites pompes en maintenant le rapport de débit souhaitée. On peut utiliser pour ce faire, par exemple, une pompe à piston à signal proportionnel qui gère le débit du

25 concentrat de façon proportionnelle à celui du perméat.

Le bilan hydraulique dans le système de traitement se maintient correctement de la façon la plus simple au moyen d'un régulateur de niveau 169 du liquide dans la cuve de concentration 161. Grâce à ce régulateur l'ajout du liquide à traiter de la conduite 160 suit la somme du débit de purge du concentrat et du débit de perméat.

30 L'appareil de séparation est inséré en général dans une boucle (conduites 151 et 152) de circulation du liquide. Ledit liquide est aspiré par la pompe 153 de la cuve 161, et est refoulé sous pression dans l'appareil de séparation 1, puis passe à travers le détendeur de pression 154 et, éventuellement, à travers un échangeur de chaleur 155. Pour ce dernier on utilise la conduite 158 pour faire circuler le fluide calorifique. Le liquide

revient ensuite dans la cuve de concentration 161. Dans la cuve 161 peut être installé un mélangeur 165 ainsi qu'un autre échangeur de chaleur 156 avec la conduite 159 servant pour le fluide calorifique. Afin de maintenir une pression constante dans l'appareil de séparation 1 on peut établir un lien fonctionnel d'asservissement de la pompe 153 et du détenteur 154 par un circuit 157 qui va servir pour le transfert du signal de la commande entre ladite pompe et ledit détenteur.

Plusieurs capteurs disposés dans les conduites et les cuves du système de séparation permettent de suivre l'évolution des paramètres des liquides, par exemple : concentration, pH, température, pression, conductivité etc. Comme représenté sur la figure 15 à titre d'exemple, les paramètres du liquide à traiter sont mesurés par les capteurs de concentration 181 et de pH 182. Dans la cuve 161 les mêmes paramètres de liquide sont mesurés par les capteurs 183, 184 et la température à l'aide de thermomètre 185. Dans la boucle de circulation la pression est mesurée par les manomètres 180 à l'entrée de l'appareil de séparation, 186 et 187 à la sortie du liquide respectivement en amont et en aval du détenteur, 196 à la sortie du perméat. La température à l'entrée et à la sortie de l'échangeur de chaleur est mesurée par les thermomètres 188 et 189, respectivement. La concentration finale du concentrat purgé est mesurée par le capteur 190 et la concentration instantanée à la sortie de l'appareil 1 est mesurée par le capteur 191. Les mêmes concentrations du perméat sont mesurées par les capteurs 192 et 193, respectivement.

Le sous-système de lavage des membranes utilisées dans l'appareil de séparation comprend une cuve 166 contenant une solution de lavage et pourvue des capteurs 194 et 195 pour mesurer respectivement la concentration et le pH. A l'aide de la pompe 153 la solution de lavage est aspirée de la cuve 166 par la conduite 177 à travers la vanne 178 puis refoulée à travers l'appareil de séparation sous une pression différentielle minimale. Afin d'avoir le minimum de pression différentielle de part et d'autre des membranes on ferme la vanne 167 installée dans la conduite du perméat 163 et on ouvre au maximum les vannes 145 et 170 dans les conduites d'évacuation du liquide ainsi que la vanne 146 dans la conduite 147 de purge générale du système de séparation. La vanne 171 reste fermée et le détenteur 154 ne s'ouvre pas en raison de la faible pression différentielle du liquide de part et d'autre dudit détenteur.

La présente invention concerne également un procédé de séparation de liquides en un perméat dépourvu de la partie ou de la totalité des matières qui ne peuvent pas passer

à travers les pores de la membrane, d'une part, et en un concentrat, enrichi en lesdites matières, d'autre part. Ce procédé comprend les étapes suivantes (voir figures 1, 5 et 15) :

1. Introduire le liquide à traiter dans le système de séparation contenant l'appareil de séparation 1 par l'intermédiaire de la cuve 161 qui sert pour la concentration dudit
5 liquide à traiter.

2. En utilisant les dispositifs d'introduction 30 et/ou 31 diriger le liquide par la conduite 151 vers et à travers les interstices de fonctionnement 16 des cellules 11, 8 et 9. Laisser sortir le liquide de l'appareil de séparation à travers le dispositif commun d'évacuation 40 ainsi qu'à travers un ou plusieurs dispositifs périphériques d'évacuation
10 41 installés dans chaque cellule intermédiaire. Ces derniers dispositifs d'évacuation 41 peuvent être utilisés en totalité ou ne peuvent fonctionner que dans certaines cellules pour organiser des courants sériels et parallèles suivant les besoins. Bien entendu, lesdits dispositifs d'évacuation 41 peuvent se transformer aux dispositifs d'introduction du liquide, tandis qu'un, deux ou tout les trois des dispositifs 30, 40 et 31 peuvent être
15 utilisés comme dispositifs d'évacuation du liquide.

3. Mettre en rotation les hélices 15, 17, 18 dans chacune des cellules dudit appareil de séparation en augmentant la pression dans l'appareil 1 jusqu'à la pression de fonctionnement.

4. Au moyen de la fermeture ou de l'ouverture des dispositifs périphériques
20 d'évacuation 41 du liquide situés dans chaque cellule intermédiaire à l'aide des vannes périphériques 145 distribuer les flux sériels et parallèles parmi les différentes cellules de façon à atteindre le taux de concentration souhaité de manière optimale du point de vue du régime thermique dudit liquide.

5. Optimiser les paramètres hydrostatiques (pression) et hydrodynamiques [débit
25 de liquide dans l'appareil, composants (rotatif et radial) de la vitesse dans l'interstice de fonctionnement].

6. Choisir la meilleure variante de génération des oscillations (leur amplitude et leur fréquence) dans l'appareil de séparation 1 du point de vue de l'atténuation du colmatage des membranes utilisées. Pour faire ceci on peut utiliser les oscillations
30 générées par les hélices extrêmes 17 et 18 et par les hélices intermédiaires 15. Les vibrations des membranes peuvent aussi être modulées par les hélices intermédiaires 15 et extrêmes 17 et/ou 18 en choisissant leurs phases les unes par rapport aux autres. La superposition optimale desdits mouvements rotatifs du liquide dans l'interstice de fonctionnement avec les mouvements oscillatoires ainsi qu'avec les mouvements

vibratoires des membranes conduisent à la résistance maximale au colmatage des membranes.

7. Réguler la température du liquide et du perméat à l'aide des échangeurs de chaleur 155 et 156.

5 8. Collecter le perméat dans la cuve 162 et le concentrat dans la cuve 175 pour leur utilisation postérieure.

9. Faire les régulations nécessaires et enregistrer des paramètres du système de séparation à l'aide de capteurs ainsi que superviser l'ensemble.

10 Selon l'invention, on peut avoir différentes géométries de circulation du liquide à travers les cellules dans l'appareil de séparation.

15 Une circulation en série du liquide a lieu quand ledit liquide entre dans l'appareil de séparation à travers le dispositif commun d'introduction 30 situé dans la première paroi extrême de l'enceinte, passe successivement toutes les cellules de l'appareil et sort à travers le dispositif commun d'évacuation 40 situé dans la deuxième paroi extrême de l'enceinte.

20 Une circulation parallèle du liquide a lieu quand ledit liquide entre dans l'appareil de séparation à travers le dispositif axial d'introduction 31 de l'arbre creux 19. Le liquide passe à travers l'arbre et chaque canal radial et entre directement dans chaque cellule. Dans la zone de circonférence de chaque cellule le liquide sort de l'appareil de séparation en utilisant les dispositifs périphériques d'évacuation 41. Bien entendu, on pourrait utiliser le même appareil de séparation en introduisant le liquide dans les dispositifs 41 et en le récupérant à travers le dispositif 31.

25 Le troisième cas possible inclut la superposition des deux modes de circulation du liquide en série et en parallèle. Pour cela, comme on peut le voir sur la figure 15, on utilise les vannes 148 et 149 dans la conduite d'introduction 151 et les vannes 145 et 170 dans la conduite de circulation 152 du liquide. La variation des flux entre lesdits dispositifs d'introduction et d'évacuation permet d'effectuer de façon souhaitée le rapport entre les flux parallèles et sériels à l'intérieur de chaque cellule de l'appareil de séparation. Les vannes périphériques 145 peuvent être ouvertes sur la totalité des cellules ou de manière choisie sur un certain nombre des cellules. Sur chaque cellule on peut prévoir au moins un dispositif périphérique d'évacuation 41 connecté à la conduite 152 à travers la vanne périphérique 145. Ainsi, en fermant (ou en ouvrant) les vannes 145 le long de l'appareil de séparation les courants sériel et parallèle peuvent être réglés de la façon souhaitée (par exemple, pour atteindre une concentration nécessaire d'un composé

30

ou d'un composant considéré tout en préservant le régime thermique dans l'appareil de séparation). Bien entendu, on pourrait utiliser le même appareil de séparation en introduisant le liquide dans les dispositifs 40 et 41 en le récupérant à travers les dispositifs 30 et 31.

5 A partir de l'expérience obtenue on peut proposer les applications suivantes non restrictives et non exhaustives de l'appareil, du système et du procédé décrits dans la présente invention :

- industrie agro-alimentaire : clarification de jus et de vins, standardisation protéique du lait, extraction des protéines du lactosérum ;

10 - industrie microbiologique et pharmaceutique : extraction de molécules spécifiques dans des milieux complexes microbiologiques ;

- industrie pétrochimique : séparation de constituants se trouvant dans les solvants non aqueux, récupération de molécules synthétiques particulières, obtention d'huiles inoxydables par élimination des produits de dégradation, élimination des matières en suspension dans un pétrole, obtention d'huiles médicinales ;

15 - industrie automobile et industrie d'usinage : traitement de fluide de coupe, traitement de la peinture à électrophorèse ;

- différentes industries : traitement des solutions contenant des détergents, récupération des additifs coûteux et dont le poids moléculaire est différent de celui d'autres composants, micro-, ultra- et nanofiltration des différents produits liquides contenant des composants de différentes tailles et de différents poids moléculaires, traitement de différents effluents industriels, élimination de matières radioactives des eaux contaminées.

20 Les modes de réalisation de l'invention ici décrits n'ont pas pour objet de réduire la portée de celle-ci. En particulier, il pourra être envisagé d'apporter certaines modifications à ces modes de réalisation sans sortir du cadre de l'invention. Bien que les différentes variantes de l'appareil, du système et du procédé de séparation des liquides sont, à notre opinion, les plus pratiques et les plus préférables, il est apparent que tous les écarts à la méthode de construction ainsi qu'à la méthode de réalisation se trouvent dans

30 le cadre et l'esprit de la présente invention.

Revendications

1. Appareil de séparation à membranes (1) comprenant :

5 - une enceinte cylindrique stationnaire (2) divisée par des membranes en deux compartiments (10, 20) ;

 - au moins quatre membranes (22) plates installées sur deux supports poreux stationnaires (71) de part et d'autre desdits supports, lesdits supports ayant la forme d'un disque avec un trou au centre ;

10 - au moins un dispositif commun d'introduction (30) d'un liquide dans le premier compartiment (10), ledit dispositif étant situé dans la première paroi extrême (3) entre l'arbre (12) et le bord externe de ladite paroi extrême de l'enceinte (2) ;

 - au moins un dispositif d'évacuation (40 et/ou 41) d'un liquide dans le premier compartiment (10), ledit dispositif étant situé dans la deuxième paroi extrême (4), entre l'arbre (12) et le bord externe de ladite paroi extrême de l'enceinte (2), et/ou dans la paroi
15 annulaire (78) de l'enceinte (2) ;

 - au moins un dispositif d'évacuation (50, 73) du perméat obtenu à partir dudit liquide dans le deuxième compartiment (20), ledit dispositif étant situé sur le bord externe (72) desdits supports poreux ;

20 - au moins trois corps (15, 17, 18) disposés dans le premier compartiment (10) au voisinage desdites membranes (22) en formant des interstices de fonctionnement (16) ; lesdits corps enfilés sur

 - un arbre plein (12) formant l'axe de ladite enceinte et inséré dans un trou central réalisé dans lesdits supports et membranes et animé d'un mouvement de rotation qui entraîne lesdits corps (15, 17, 18) en rotation en formant dans le liquide au niveau desdits
25 interstices de fonctionnement (16) des vortex secondaires et des conditions oscillatoires ainsi que des mouvements vibratoires des membranes afin d'éviter ou d'atténuer leur colmatage et de maintenir leur perméabilité à un niveau élevé ; et

 - un moyen (13) de mise en rotation dudit arbre portant lesdits corps (15, 17, 18).

2. Appareil de séparation à membranes (1) comprenant :

30 - une enceinte cylindrique stationnaire (2) divisée par des membranes en deux compartiments (10, 20) ;

- au moins quatre membranes (22) plates installées sur deux supports poreux stationnaires (71) de part et d'autre desdits supports, lesdits supports ayant la forme d'un disque avec un trou au centre ;

- au moins un dispositif axial d'introduction (31) du liquide dans le premier
5 compartiment (10), ledit dispositif étant en communication avec l'arbre creux (19) est situé dans la première paroi extrême (3) de ladite enceinte cylindrique sur son axe ;

- au moins un dispositif d'évacuation (40 et/ou 41) du liquide dans le premier
compartiment (10), ledit dispositif étant situé dans la deuxième paroi extrême (4), entre
l'arbre (19) et le bord externe de ladite paroi extrême de l'enceinte (2), et/ou dans la paroi
10 annulaire (78) de l'enceinte (2) ;

- au moins un dispositif d'évacuation (50, 73) du perméat obtenu à partir dudit
liquide dans le deuxième compartiment (20), ledit dispositif étant situé sur le bord
externe (72) desdits supports poreux ;

- au moins trois corps (15, 17, 18) disposés dans le premier compartiment (10) au
15 voisinage desdites membranes en formant des interstices de fonctionnement (16) ; chacun
desdits corps comportant un anneau central (90) ayant au moins un canal radial (33)
servant pour introduire le liquide dans chacun des interstices de fonctionnement (16) ;
lesdits corps enfilés sur

- un arbre creux (19) formant l'axe de ladite enceinte et inséré dans un trou central
20 réalisé dans lesdits supports et membranes et animé d'un mouvement de rotation continue
qui entraîne lesdits corps (15, 17, 18) en rotation en formant dans le liquide au niveau
desdits interstices de fonctionnement (16) des vortex secondaires et des conditions
oscillatoires ainsi que des mouvements vibratoires des membranes (22) afin d'éviter ou
d'atténuer leur colmatage et de maintenir leur perméabilité à un niveau élevé ; ledit arbre
25 creux contenant au moins un canal radial (32) réalisé dans sa paroi au niveau de chaque
support poreux et servant pour introduire le liquide dans chacun des interstices de
fonctionnement (16) ; lesdits canaux (32) coïncident dans leur position avec les canaux
(33) ; et

- un moyen (13) de mise en rotation dudit arbre portant lesdits corps (15, 17, 18).

3. Appareil de séparation à membranes (1) comprenant :

- une enceinte cylindrique stationnaire (2) divisée par des membranes en deux
compartiments (10, 20) ;

- au moins quatre membranes (22) plates installées sur deux supports poreux stationnaires (71) de part et d'autre desdits supports, lesdits supports ayant la forme d'un disque avec un trou au centre ;

5 - au moins deux dispositifs d'introduction (30, 31) d'un liquide dans le premier compartiment (10), lesdits dispositifs étant situés dans la première paroi extrême (3) de ladite enceinte cylindrique ; ledit premier dispositif (30) est un dispositif commun d'introduction du liquide étant situé entre l'arbre (19) et le bord externe de ladite paroi extrême de l'enceinte (2) ; ledit deuxième dispositif (31) est un dispositif axial d'introduction du liquide étant en communication avec l'arbre creux (19) ;

10 - au moins un dispositif d'évacuation (40 et/ou 41) du liquide dans le premier compartiment (10), ledit dispositif étant situé dans la deuxième paroi extrême (4) entre l'arbre et le bord externe de ladite paroi extrême de l'enceinte (2) et/ou dans la paroi annulaire (78) de l'enceinte (2) ;

15 - au moins un dispositif d'évacuation (50, 73) du perméat obtenu à partir dudit liquide dans le deuxième compartiment (20), ledit dispositif étant situé sur le bord externe (72) desdits supports poreux ;

20 - au moins trois corps (15, 17, 18) disposés dans le premier compartiment (10) au voisinage desdites membranes en formant des interstices de fonctionnement (16) ; chacun desdits corps comportant un anneau central (90) ayant au moins un canal radial (33) servant pour introduire le liquide dans chacun des interstices de fonctionnement (16) ; lesdits corps enfilés sur

25 - un arbre creux (19) formant l'axe de ladite enceinte et inséré dans un trou central réalisé dans lesdits supports et membranes et animé d'un mouvement de rotation continue qui entraîne lesdits corps (15, 17, 18) en rotation en formant dans le liquide au niveau desdits interstices de fonctionnement (16) des vortex secondaires et des conditions oscillatoires ainsi que des mouvements vibratoires des membranes (22) afin d'éviter ou d'atténuer leur colmatage et de maintenir leur perméabilité à un niveau élevé ; ledit arbre creux contenant au moins un canal radial (32) réalisé dans sa paroi au niveau de chaque support poreux et servant pour introduire le liquide dans chacun des interstices de
30 fonctionnement (16) ; lesdits canaux (32) coïncident dans leur position avec les canaux (33) ; et

- un moyen (13) de mise en rotation dudit arbre portant lesdits corps (15, 17, 18).

4. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 comprenant une enceinte cylindrique stationnaire (2) composé d'au

moins une cellule intermédiaire (11) et d'au moins deux cellules extrêmes d'introduction (8) et d'évacuation (9) du liquide disposées dans le premier compartiment (10) contenant ledit liquide et d'au moins deux chambres de perméat (21), disposées dans le deuxième compartiment (20), lesdites cellules et chambres sont disposées en alternance l'une par rapport à l'autre, et traversées par l'arbre (12 ou 19) sur lequel sont fixés les corps (15, 17, 18) disposés dans lesdites cellules de façon que leurs surfaces principales soient adjacentes aux membranes, l'espace entre les corps et les membranes formant ainsi des interstices de fonctionnement (16) ; ledit arbre portant lesdits corps est mis en mouvement rotatif par un moteur (13) par l'intermédiaire d'un système de transmission (14) ; ladite cellule intermédiaire (11) est munie de préférence d'au moins un dispositif périphérique d'évacuation (41) du liquide fixé dans la paroi annulaire (78) de cette cellule (11).

5. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 comprenant une enceinte (2) composée d'au moins trois cellules (8, 9, 11), dont une, la cellule intermédiaire (11), est limitée sur chaque face par une membrane (22), et deux autres, cellules extrêmes (8 et 9), sont limitées par la membrane (22) d'une part ; et par la première paroi extrême comprenant le dispositif commun d'introduction (30) et/ou dispositif axial d'introduction (31) du liquide pour la cellule extrême d'introduction, et par la deuxième paroi extrême comprenant le dispositif commun d'évacuation (40) dudit liquide pour la cellule extrême d'évacuation, d'autre part.

6. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 comprenant un corps rotatif (15) disposé dans la cellule intermédiaire et fixé sur l'arbre (12 ou 19) par l'intermédiaire de l'anneau central (90) ; ledit corps ayant la forme d'une hélice à au moins deux pales (96), chacune desdites pales comprend deux surfaces principales (91, 92) dont la courbure est négative, nulle ou positive, lesdites surfaces étant limitées par un bord d'attaque (93) et un bord de fuite (94) biseautés et par un bord de circonférence (95) ayant la forme d'un arc de cercle coaxial à l'axe principal de l'arbre (12 ou 19) et celui de l'enceinte (2) dudit appareil.

7. Appareil de séparation à membranes (1) selon la revendication 6 dans lequel la courbure du bord d'attaque (93) et celle du bord de fuite (94) de la pale (96) étant de la forme d'une spirale avec un angle de serrage de chacun desdits bords qui varie entre 0 et $N = k\pi$ où k est un coefficient qui varie entre 0,05 et 1, de préférence entre 0,1 et 0,6 ; ladite courbure du bord d'attaque et du bord de fuite de la pale ayant pour résultat de

diminuer les pertes énergétiques pendant le mouvement rotatif de l'hélice et d'uniformiser le champ de vitesse du liquide sur toute la surface de la membrane.

8. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 6 et 7 dans lequel le nombre des pales (96) d'hélice varie entre 2 et 12, l'angle μ entre le bord d'attaque et le bord de fuite de chacune des pales varie entre 15 et 180 ° ; le rapport entre le rayon R du bord de circonférence des pales et le rayon r du bord externe de l'anneau central (90), qui soutient lesdites pales, varie entre 3 et 15.

9. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 6 à 8 dans lequel :

10 - l'épaisseur de l'interstice du fonctionnement (16) varie entre 0,5 et 50 mm, de préférence entre 1 et 6 mm ;

- l'angle formé entre les surfaces principales (91, 92) de la pale (96) d'hélice et la surface de la membrane (22) varie entre 0 et 30 ° ;

15 - la vitesse angulaire de rotation de l'hélice varie entre 20 et 5000 tours par minute, de préférence entre 200 et 2500 tours par minute et peut être modifiée lors de fonctionnement de l'appareil (1).

10. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 6 à 9 comprenant au moins deux cellules intermédiaires (11) chacune contenant une hélice (15) dont la phase de positionnement de l'une par rapport à l'autre varie entre 0 et 180 °.

11. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 comprenant :

25 - un corps rotatif (15) situant dans chaque cellule intermédiaire (11) et enfilé sur l'arbre (12 ou 19) ; ledit corps ayant la forme d'une hélice à au moins deux pales (128) ; chacune desdites pales comprend deux surfaces principales dont la courbure est négative, nulle ou positive, lesdites surfaces étant limitées par un bord d'attaque (93) et un bord de fuite (94) biseautés, et par un bord externe (133) de la forme d'un arc de cercle non-coaxial à l'axe principal de l'arbre et celui de l'enceinte dudit appareil ;

30 - une cellule (11) munie de préférence d'au moins un dispositif périphérique d'évacuation (41) du liquide fixé dans la paroi annulaire (78) de ladite cellule et ayant son axe principal (125) qui forme un angle ϕ par rapport à l'axe (129) de position du centre d'ouverture (138) compris entre 0° et 90° ; ledit dispositif ayant ledit angle est incliné de préférence dans le sens de rotation de l'hélice ; l'ouverture (138) dudit dispositif

périphérique d'évacuation (41) est adjacente à l'extrémité (134) du bord externe (133) de la pale.

12. Appareil de séparation à membranes (1) selon la revendication 11 contenant une hélice ayant au moins deux pales (128) étant limitées par un bord d'attaque (93) et un
5 bord de fuite (94) biseautés courbés suivant une spirale, et par un bord externe (133), dans lequel appareil ledit bord externe (133) ayant le rayon R_p dont le point de départ se trouve de préférence sur la médiane (124) de l'arc formant ledit bord externe (133) de la pale (128), ladite médiane traversant l'axe de rotation de l'hélice ; et le rayon R , désignant le rayon de la ligne de circonférence (135) décrite par l'extremum (134) disposé sur ledit
10 bord externe (133) lors de rotation de l'hélice ; un rapport R_p/R varie entre 0,1 et 0,99, de préférence entre 0,7 et 0,95.

13. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 11 à 12 dans lequel le nombre de pales (128) d'hélice étant égale au nombre de dispositifs périphériques d'évacuation (41) du liquide ; l'angle formé entre les
15 médianes (124) désignant une position de l'extremum (134) sur le bord externe (133) de chaque pale et l'angle formé entre les axes (129) de position du centre des ouvertures (138) de dispositifs périphériques d'évacuation (41) sont égaux ; la distance entre l'ouverture du dispositif périphérique d'évacuation (41) et l'extremum du bord externe (134) de la pale étant réglable ou fixe.

14. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 11 à 13 dans lequel la courbure du bord d'attaque (93) et celle du bord de fuite (94) de la pale (128) ayant la forme d'une spirale avec un angle de serrage de chacun desdits bords qui varie entre 0 et $N = k\pi$ où k est un coefficient qui varie entre 0,05 et 1, de préférence entre 0,1 et 0,6.

15. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 comprenant une cellule extrême d'introduction (8) et une cellule extrême d'évacuation (9) du liquide, chacune desdites cellules extrêmes comprenant :

- un corps rotatif extrême (17, 18) disposé dans lesdites cellules extrêmes (8 et 9) et fixé sur l'arbre (12 ou 19), ledit corps ayant la forme d'une hélice à au moins deux
30 pales (97) ; chacune desdites pales est composée de deux surfaces principales, lesdites surfaces étant limitées par un bord d'attaque (93) et un bord de fuite (94) biseautés, courbé suivant une spirale, et par un arc de cercle coaxial audit axe principal de l'arbre (12 ou 19) et celui de l'enceinte (2) ;

- une membrane (22) plate installée sur le support poreux stationnaire (71) adjacente à la première surface principale de ladite hélice, ledit support ayant la forme d'un disque avec un trou au centre ; l'espace entre la membrane et la première surface principale de hélices formant un interstice de fonctionnement (16) ;

5 - un dispositif commun d'introduction (30) du liquide situé dans la première paroi extrême au voisinage du plan de rotation de ladite hélice 17 entre l'arbre et le bord externe de la paroi extrême de l'enceinte 2 et adjacent à la deuxième surface principale de l'hélice dans ladite cellule extrême d'introduction ;

10 - un dispositif commun d'évacuation (40) du liquide situé dans la deuxième paroi extrême au voisinage du plan de rotation de ladite hélice 18 entre l'arbre et le bord externe de la paroi extrême de l'enceinte 2 et adjacent à la deuxième surface principale de l'hélice dans ladite cellule extrême d'évacuation ;

15 - un arbre (12 ou 19) formant l'axe de l'enceinte (2) et inséré dans un trou central réalisé dans lesdits supports et membranes et animé d'un mouvement de rotation qui entraîne lesdites hélices extrêmes étant enfilés sur ledit arbre en formant

a) dans le liquide au niveau de l'interstice de fonctionnement (16), des vortex secondaires et des conditions oscillatoires ainsi que des mouvements vibratoires des membranes (22) afin d'éviter ou d'atténuer leur colmatage et de maintenir leur perméabilité à un niveau élevé ;

20 b) l'interruption momentanée et périodique du jet dudit liquide par les pales (97) en générant des oscillations du flux dudit liquide dans tout l'appareil de séparation (1).

25 16. Appareil de séparation à membranes (1) selon la revendication 15 dans lequel les surfaces principales (111 et 112) des pales ont une courbure convexe pour faire varier moins brusquement le courant de liquide passant à travers lesdits dispositifs commun d'introduction (30) et/ou d'évacuation (40) ; la distance entre l'ouverture du dispositif commun d'introduction (30) et/ou d'évacuation (40) et la surface principale de la pale étant réglable ou fixe.

30 17. Appareil de séparation à membranes (1) selon la revendication 15 dans lequel la surface principale (123) faisant face au dispositif commun d'introduction (30) et/ou au dispositif d'évacuation (40) a une courbure dont la convexité est plus importante que celle de la surface principale (121) qui fait face à la membrane.

18. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 15 à 17 dans lequel la courbure du bord d'attaque (93) et celle du bord de

fuite (94) de la pale (97) a la forme d'une spirale avec un angle de serrage de chacun desdits bords qui varie entre 0 et $N = k\pi$ où k est un coefficient qui varie entre 0,05 et 1, de préférence entre 0,1 et 0,6.

5 19. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 15 à 18 comprenant au moins deux cellules extrêmes (8 et 9) chacune contenant une hélice (17, 18) dont la phase de positionnement l'une par rapport à l'autre dans ces deux cellules extrêmes varie entre 0 et 180 °.

10 20. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 11 à 19 dans lequel la fréquence d'oscillation du flux de liquide est comprise entre 0,1 et 1000 Hz, de préférence entre 1 et 400 Hz et les différentes actions périodiques générées simultanément dans l'appareil (1) et dans chaque cellule (8, 9 et/ou 11) dudit appareil ayant de préférence un déphasage étant non en quadrature l'une par rapport à l'autre.

15 21. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 comprenant une chambre de perméat (21) disposée dans le deuxième compartiment (20) et constituée d'un support poreux (71) qui comprend au moins un disque poreux dont les deux faces principales sont couvertes par les membranes (22) ; ledit support étant pourvu d'un bord externe (72) et d'un bord interne (79) coaxiaux; ledit bord externe et une portion externe (77) des deux faces principales restent ouvertes au passage du perméat ; ledit support réservant un espace central par lequel est enfilé un arbre (12 ou 19) ; ledit bord interne et la portion des membranes en contact avec ledit bord interne sont étanchéifiés (76) ; ladite portion externe est séparée de la surface de la membrane et du volume intérieur du premier compartiment (10) par un joint (75) ; ladite chambre est fixée à l'enceinte (2) de l'appareil au niveau de sa périphérie extérieure
20 25 contre les parois annulaires (78) des cellules adjacentes et reste libre au niveau de sa partie centrale.

22. Appareil de séparation à membranes (1) selon la revendication 21 comprenant une chambre de perméat (21) dans laquelle le disque du support poreux (71) est fabriqué, de préférence, à partir de poudres métalliques frittées, en céramique poreux et/ou en
30 metallocéramique poreux ; ledit disque ayant une épaisseur qui varie entre 0,5 et 10 millimètres, de préférence entre 1 et 5 millimètres ; la taille des pores varie entre 1 et 500 micromètres et le taux de porosité entre 5 et 80 % ; le rapport D/d entre la taille des pores D dudit disque poreux et la taille des pores d de la couche sélective de la membrane, qui couvre ledit disque, est supérieur ou égal à 50.

23. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 21 à 22 comprenant une chambre de perméat (21) constituée d'au moins un disque poreux (71) fabriqué, de préférence, à partir de poudres métalliques frittées, en céramique et/ou en métallo-céramique, et dans lequel la membrane est liée par des forces
5 d'adhérence et/ou fixée à la surface dudit disque poreux.

24. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 et 21 à 23 comprenant une chambre de perméat (21) constituée d'un support poreux (71) qui comprend au moins deux disques poreux externes (81 et 82) dont la face principale extérieure est couverte par la membrane (22) et les faces principales
10 intérieures séparées par une grille (83) ou un disque poreux interne (84) ; lesdits disque et grille poreux internes ayant la taille des pores qui est supérieure à la taille des pores des disques poreux externes (81 et 82) ; ledit support est pourvu d'un bord externe (85 et 86) et d'un bord interne (87 et 88) coaxiaux ; ledit bord externe et une portion externe (77) des deux faces principales des disques restent ouvertes au passage du perméat ; ledit bord
15 interne réservant un espace par lequel est enfilé un arbre (12 ou 19) ; ce bord interne et la portion des membranes en contact avec ledit bord interne sont étanchéifiées (76) ; ladite portion externe (77) est séparée de la surface de la membrane et du volume intérieur du premier compartiment (10) par un joint (75) ; ladite chambre est fixée à l'enceinte (2) d'un appareil de séparation au niveau de sa périphérie extérieure et reste libre au niveau de sa
20 partie centrale.

25. Appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 comprenant un champ électrique de part et d'autre de chaque membrane en utilisant comme électrodes opposées un corps rotatif (15, 17, 18) et un support métallique poreux de la chambre de perméat (21) ; lesdites électrodes, de
25 préférence, sont couvertes par une couche d'argent et/ou de platine ; la tension du champ électrique étant de préférence de type pulsionnel ; la tension dudit champ électrique au-delà du seuil minimal, incluant la résistance de l'interstice de fonctionnement et de la membrane, étant comprise entre 500 et 50000 V/m ; le rapport entre la durée d'application de ladite tension et la durée de la période morte étant compris entre 0,1 et
30 50.

26. Système de séparation des liquides en utilisant un appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 25 comprenant :

- au moins un dispositif (153) de formation de la pression différentielle de part et d'autre des membranes situé de préférence en amont dudit appareil de séparation (1) dans la conduite d'introduction (151) du liquide et/ou dans la conduite du perméat ;

5 - au moins un dispositif (154) de régulation de la pression et du débit situé en aval dudit appareil de séparation (1) dans la conduite (152) ;

- des cuves de concentration (161) du liquide à traiter, de réception du perméat (162), de purge du concentrat (175), de stockage d'une solution de lavage (166) ;

- des moyens (145, 148, 149, 170) de distribution du liquide dans les cellules soit en série, soit en parallèle, soit en combinant les deux ;

10 - des moyens (13, 15, 17, 18, 148, 149, 145, 153, 170) d'optimisation des paramètres hydrostatiques (pression) et hydrodynamiques [débit de liquide dans l'appareil, composants (rotatif et radial) de la vitesse dans chacun des interstices de fonctionnement] ;

15 - des moyens (164, 174) de régulation du rapport entre le débit de la purge du concentrat et le débit du perméat ;

- au moins un échangeur de chaleur (155) disposé dans la boucle de circulation (152) et/ou au moins un échangeur de chaleur (156) placé dans la cuve de concentration (161) ; lesdits échangeurs sont destinés pour stabiliser la température du liquide ;

- au moins un sous-système de lavage de l'appareil de séparation ;

20 - au moins un sous-système de prétraitement du liquide avant de l'injecter dans ledit appareil de séparation (1) ;

- des moyens de régulation et/ou d'enregistrement des paramètres des liquides et des paramètres de fonctionnement.

25 27. Procédé de séparation des liquides en un perméat, dépourvu d'une partie ou de la totalité des matières qui ne peuvent pas passer à travers les pores de la membrane, et en un concentrat, enrichi en lesdites matières ; ledit procédé réalisé à l'aide de l'appareil de séparation à membranes (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 25 étant inclus dans le système de séparation et comprenant les étapes suivantes :

- introduction du liquide à traiter dans ledit système ;

30 - préparation du liquide à partir dudit liquide à traiter ;

- distribution du liquide dans les interstices de fonctionnement (16) de chacune des cellules (8, 9, 11) en formant des courants sériels et/ou parallèles dudit liquide dans ledit appareil pour atteindre le taux de concentration nécessaire ;

- mise en rotation des hélices (15, 17, 18) dans chacune des cellules (8, 9, 11) dudit appareil en augmentant la pression jusqu'à la pression différentielle de fonctionnement ;

5 - optimisation des paramètres hydrostatiques (pression) et hydrodynamiques [débit de liquide dans l'appareil, composants (rotatif et radial) de la vitesse dans chacun des interstices de fonctionnement] ;

- génération des oscillations dans l'appareil de séparation (1) au moyen des hélices extrêmes (17, 18) disposées aux cellules extrêmes dudit appareil pour obtenir les meilleures conditions de résistance au colmatage des membranes ;

10 - génération des oscillations dans chaque cellule intermédiaire (11) de l'appareil de séparation (1) au moyen des hélices (15) disposées dans lesdites cellules pour obtenir les meilleures conditions de résistance au colmatage des membranes ;

- collecte du perméat et du concentrat séparément pour leur utilisation postérieure;

15 - régulation et enregistrement des paramètres de liquides et des paramètres du système de séparation.

28. Procédé de séparation du liquide à traiter selon la revendication 27 dans lequel on maintient un rapport déterminé entre le débit du liquide qui sort du premier compartiment de l'appareil de séparation et le débit dudit liquide qui y entre ; ledit rapport étant compris entre 0,05 et 0,99, de préférence entre 0,7 et 0,9.

20 29. Système de séparation selon la revendication 26 caractérisé en ce qu'il s'applique pour la réalisation des procédés de séparation selon l'une quelconque des revendications 27 et 28 ; lesdits procédés incluent une microfiltration, une ultrafiltration, une nanofiltration et/ou une osmose inverse à basse pression ; ledit système s'applique aux dits procédés sans aucun prétraitement ou avec un faible prétraitement (préfiltration
25 grossière) du liquide à traiter.

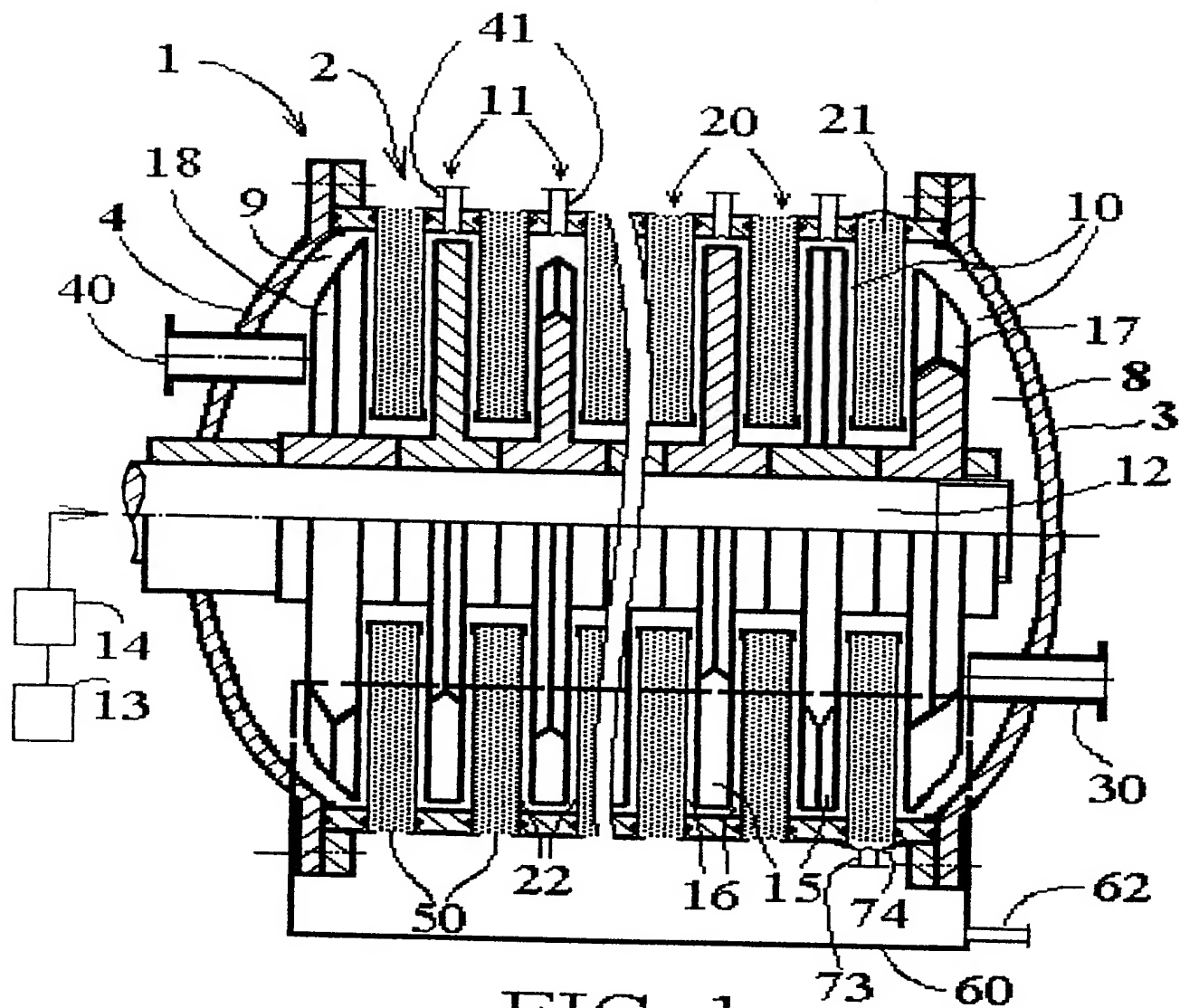


FIG. 1

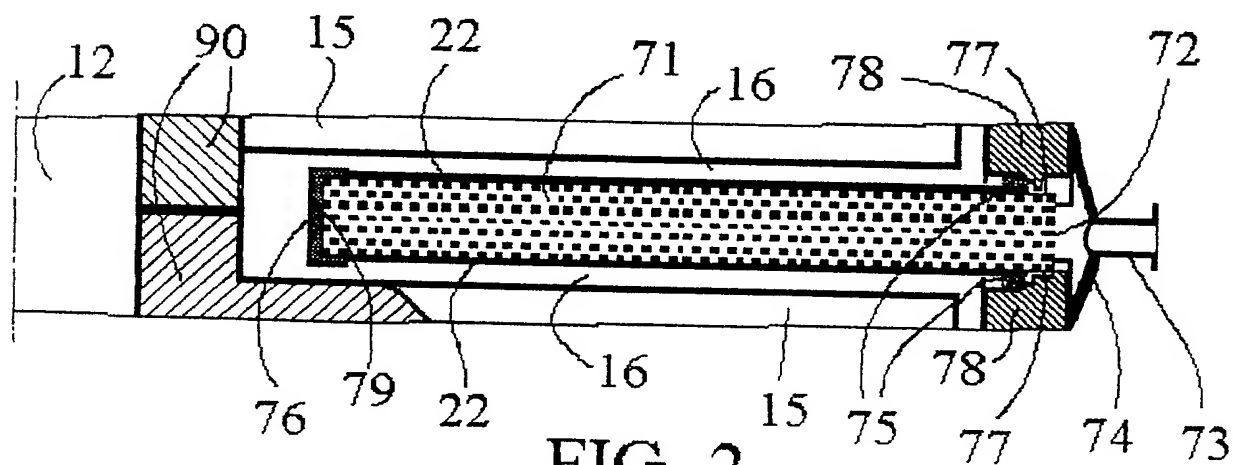
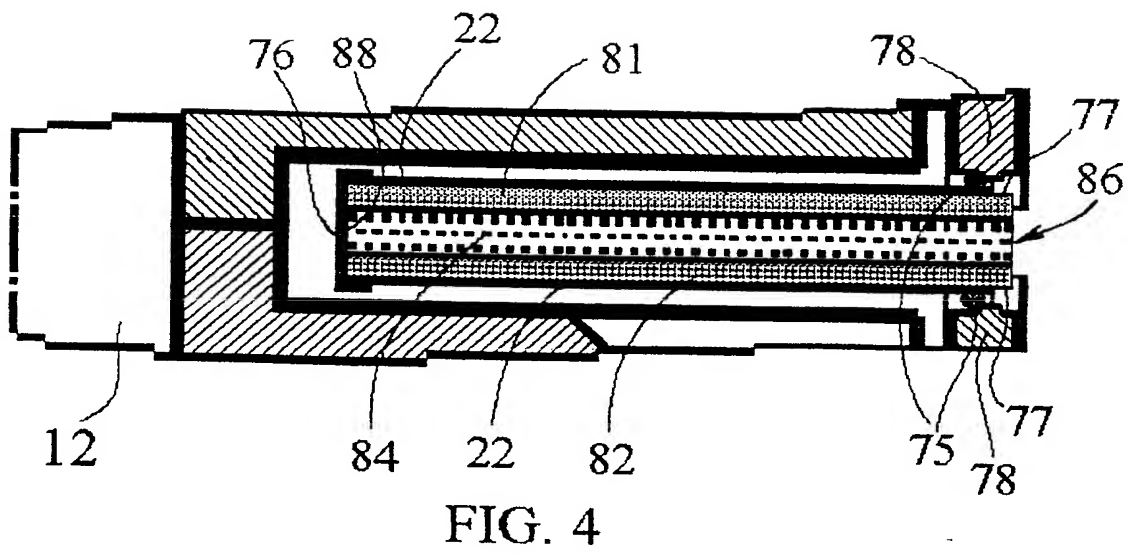
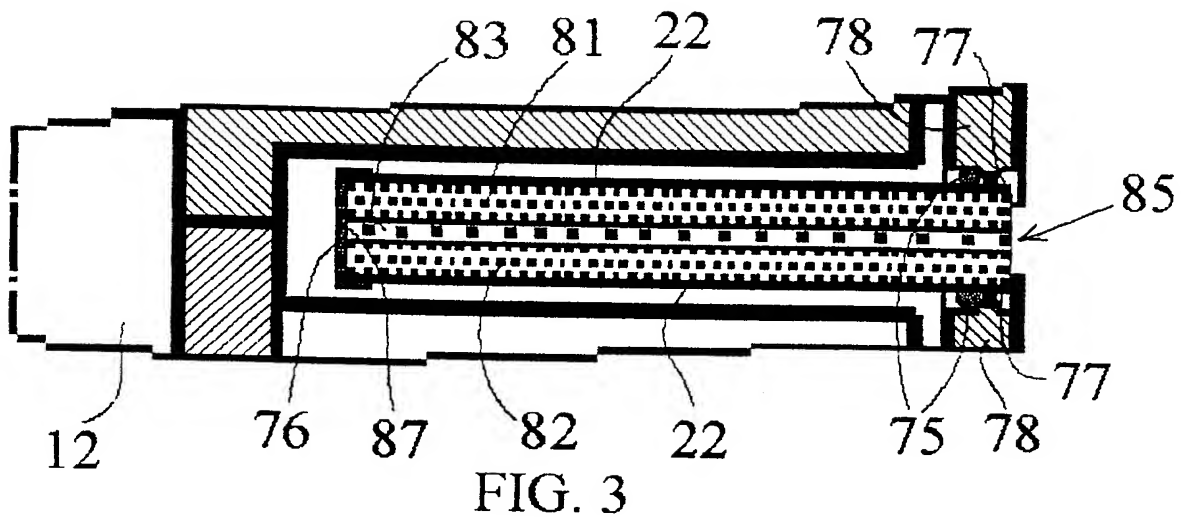
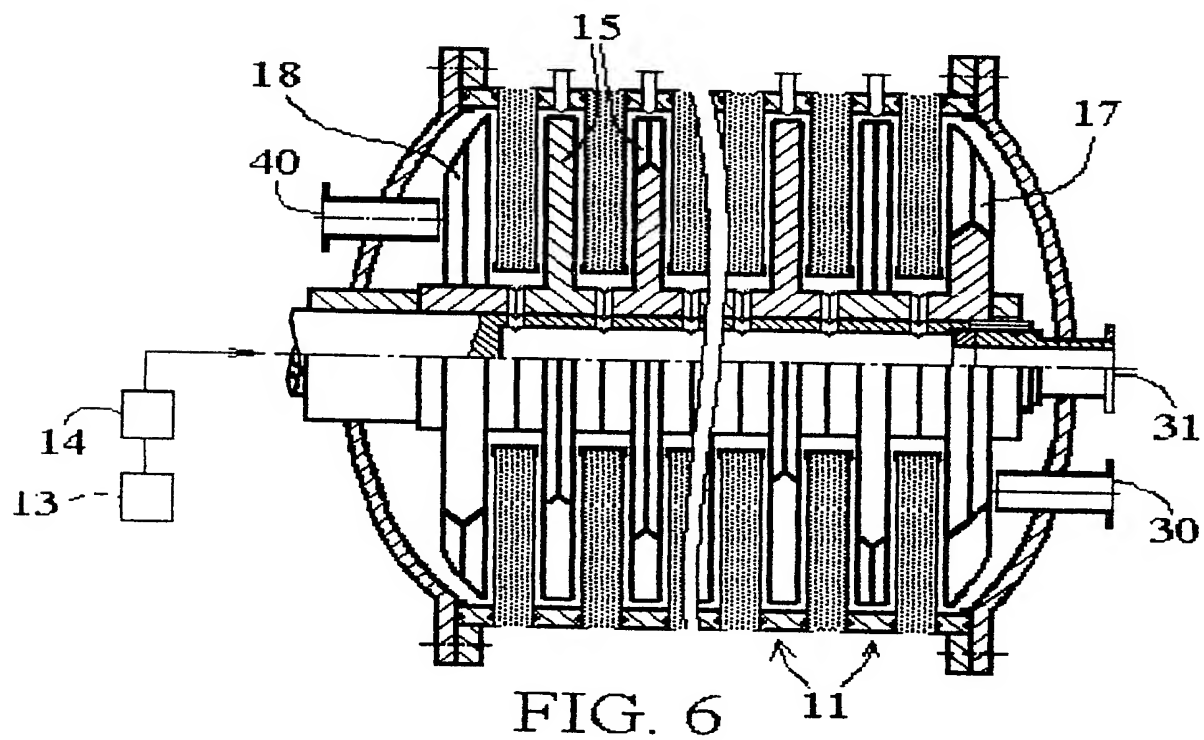
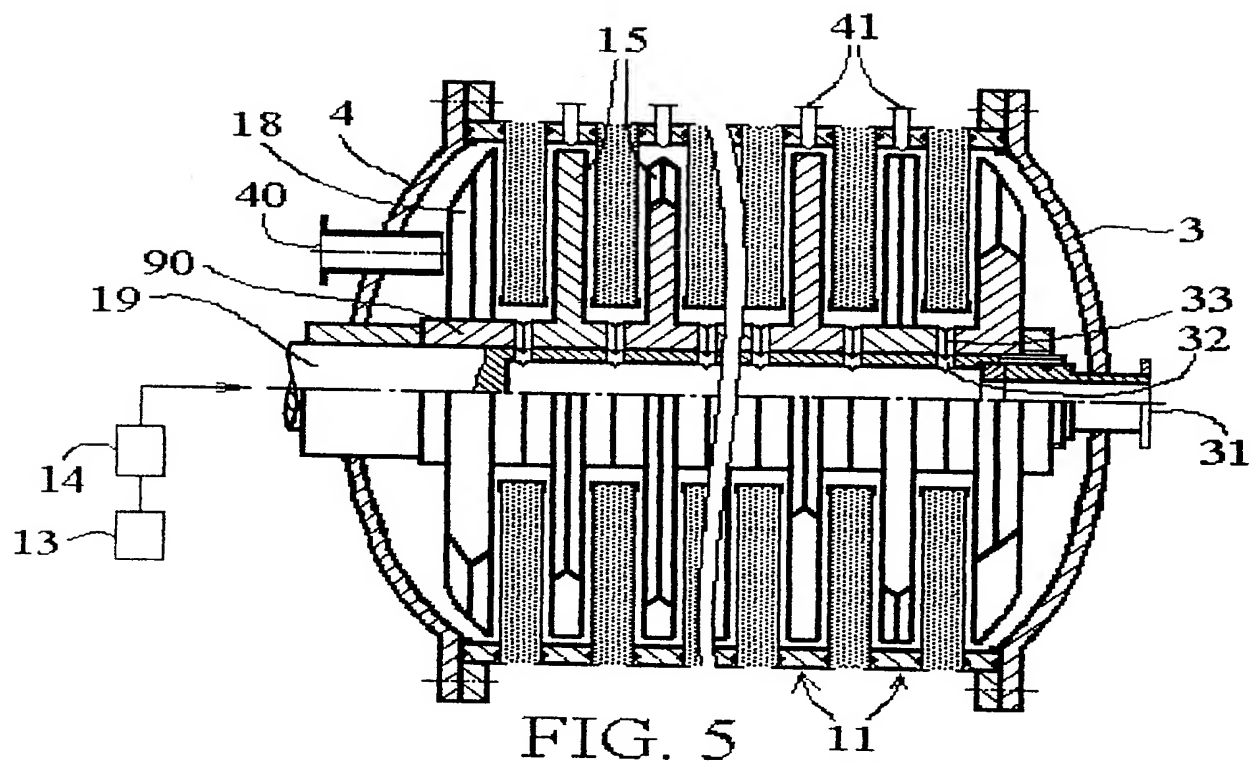


FIG. 2

2/8



3/8



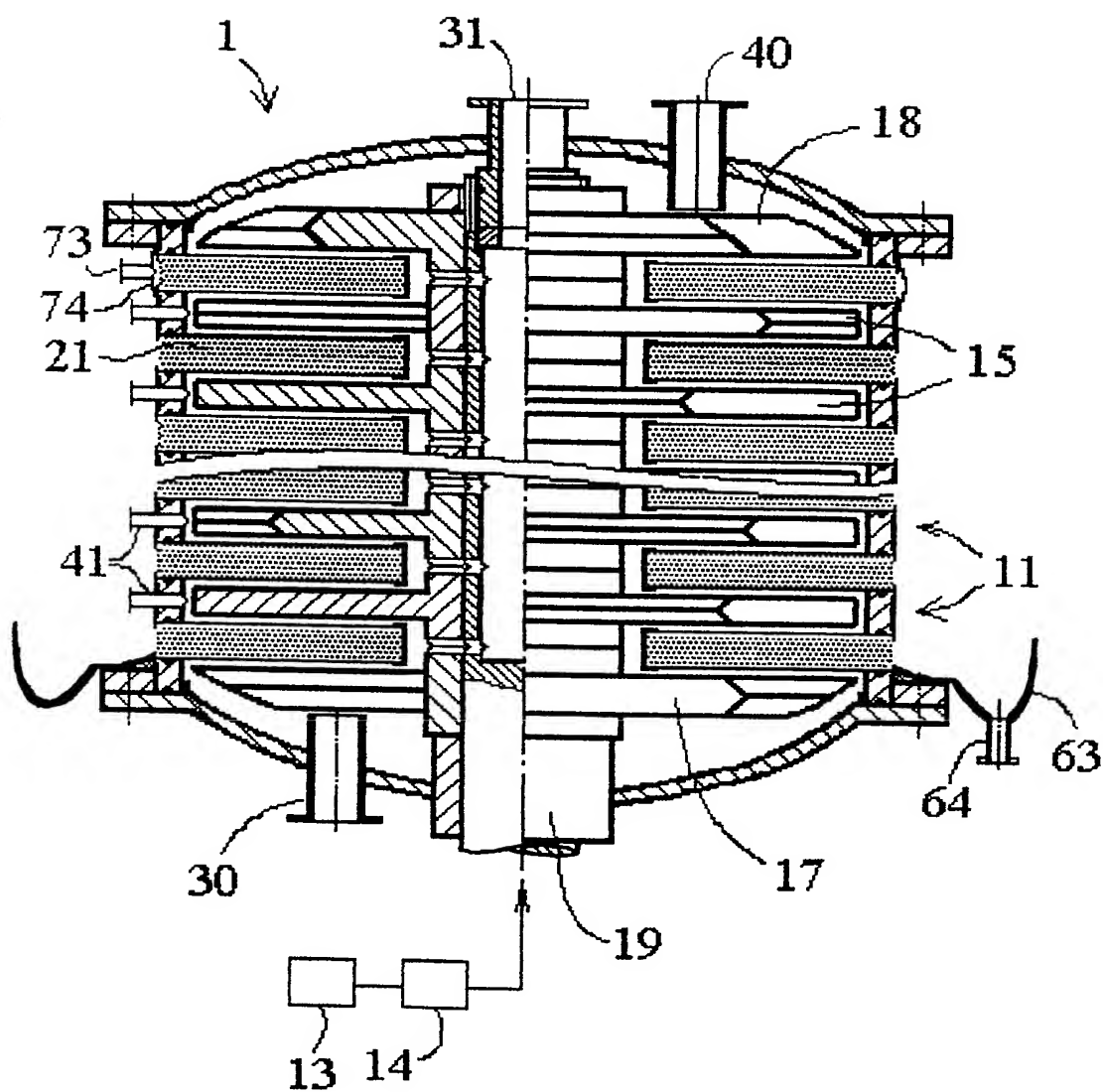


FIG. 7

5/8

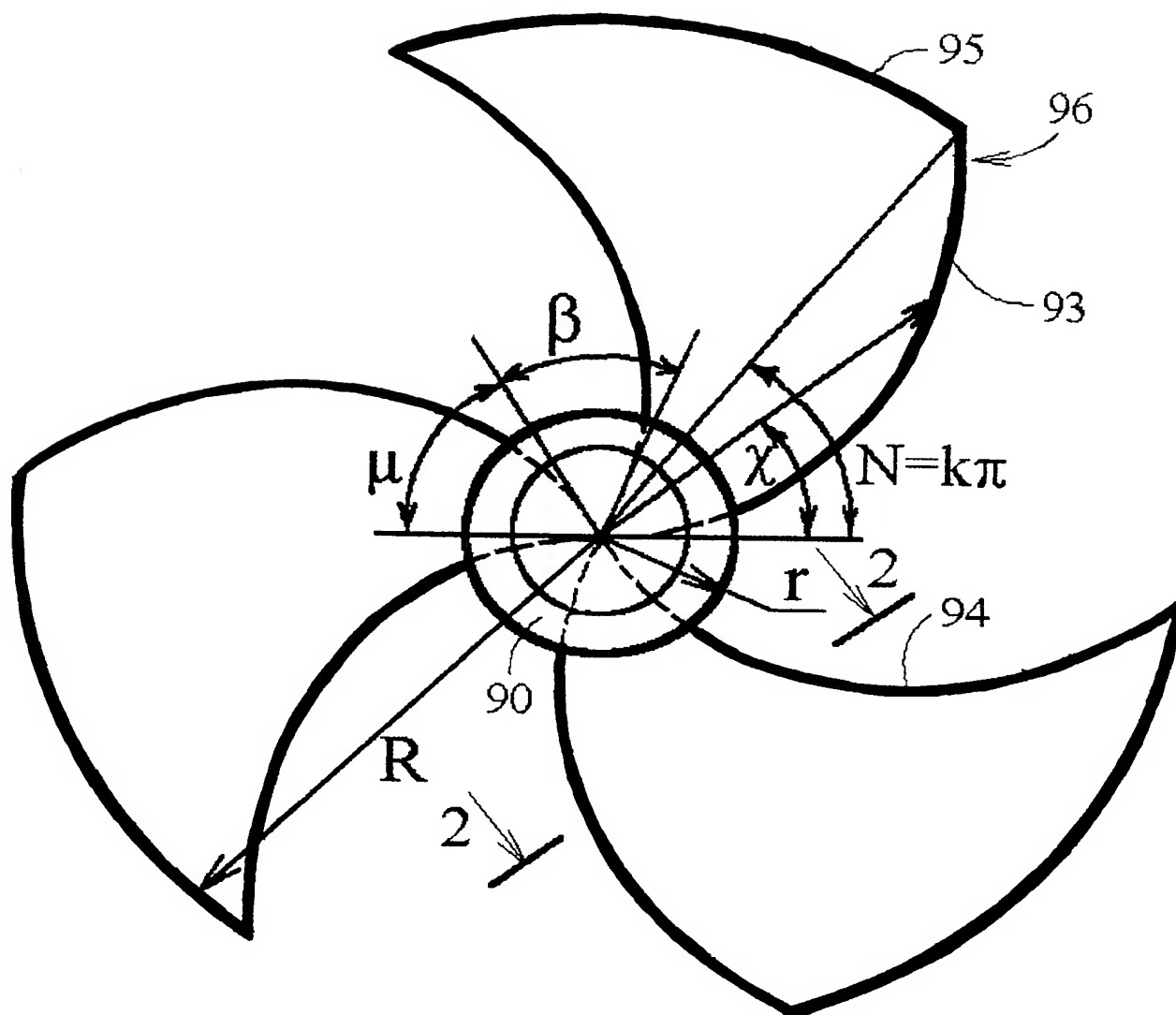


FIG. 8

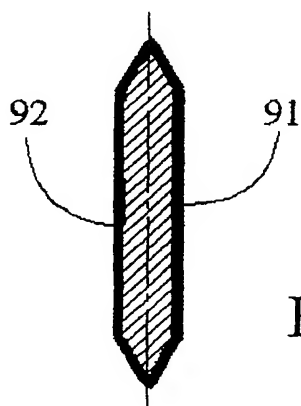


FIG. 9

6/8

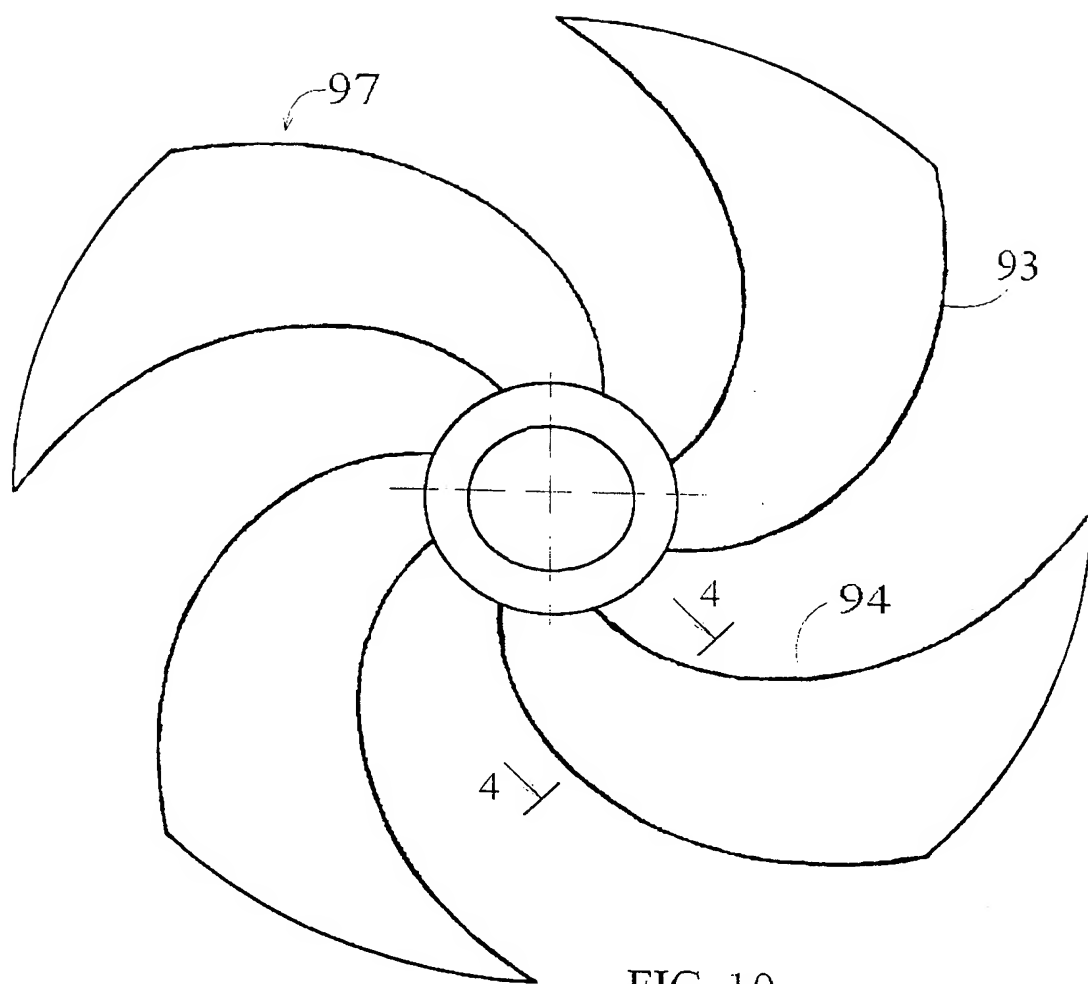


FIG. 10

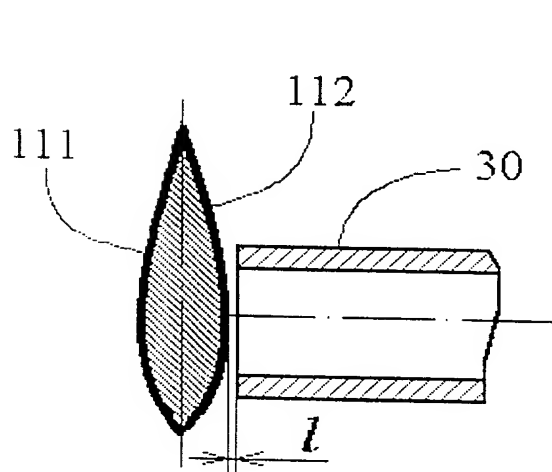


FIG. 11

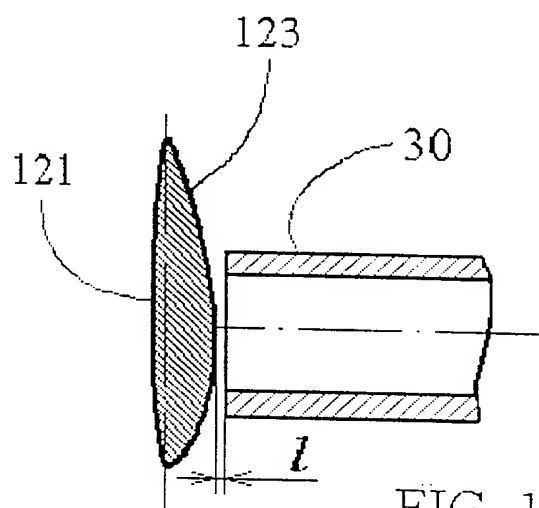


FIG. 12

7/8

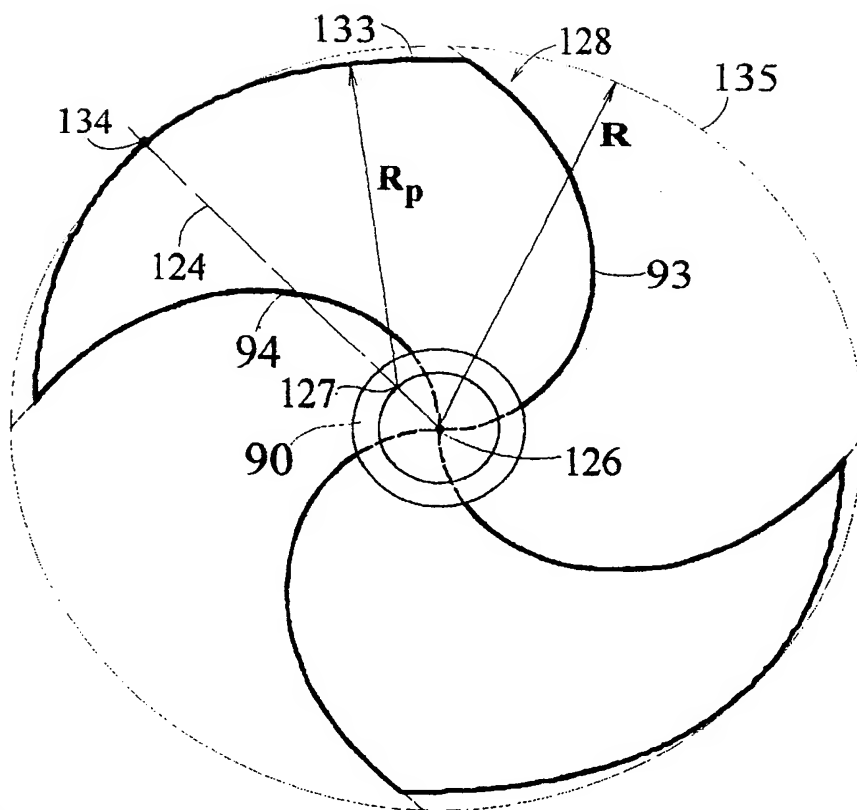


FIG. 13

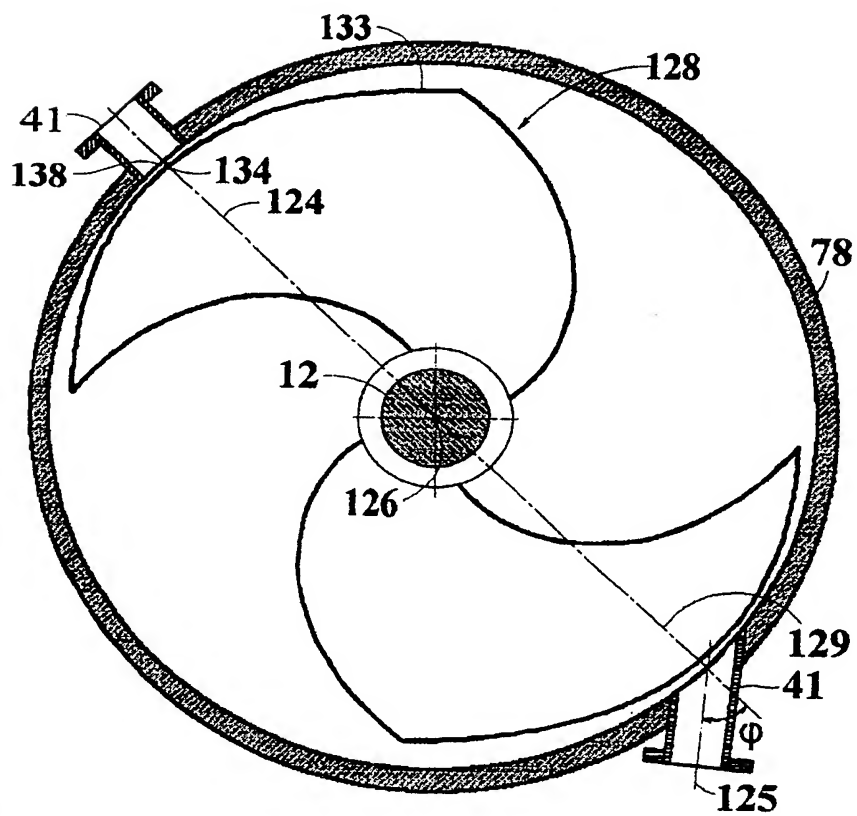


FIG. 14

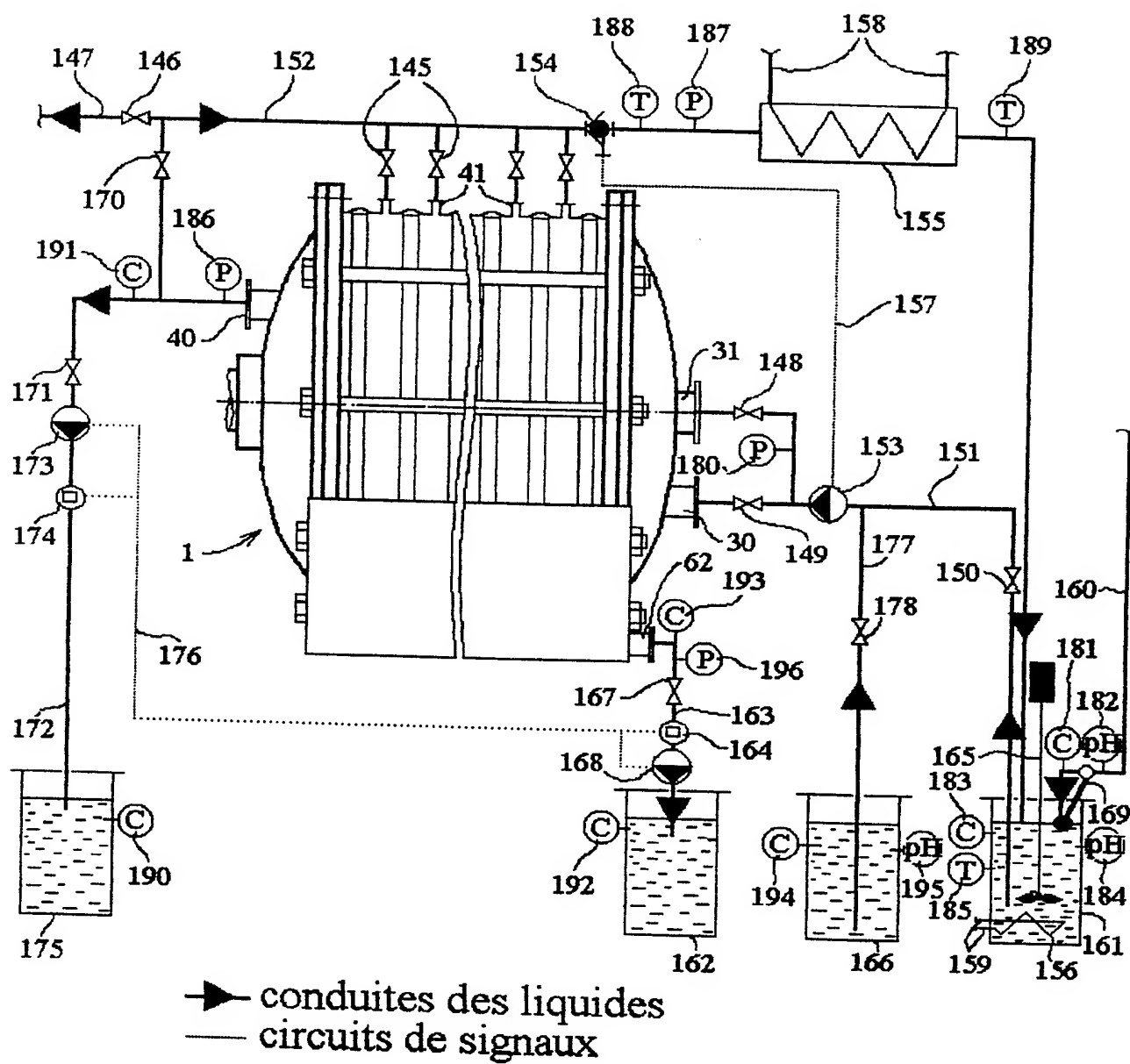


FIG. 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In tional Application No

PCT/FR 98/02475

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 B01D65/08 B01D63/08 B01D63/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 B01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 97 32652 A (RAISIO CHEMICALS OY) 12 September 1997 see claims; figures 3,5,8 ---	1,27
A	WO 95 16508 A (PALL CORPORATION) 22 June 1995 cited in the application see claims; figures 1-4 ---	1,26,27
A	WO 96 01676 A (PALL CORPORATION) 25 January 1996 cited in the application see claims; figures ---	1,27
A	WO 95 00231 A (PALL CORPORATION) 5 January 1995 cited in the application see claims -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 February 1999

Date of mailing of the international search report

25/02/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Cordero Alvarez, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

In tional Application No

PCT/FR 98/02475

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9732652 A	12-09-1997	FI 960993 A AU 1882297 A CA 2247187 A NO 984046 A	05-09-1997 22-09-1997 12-09-1997 30-10-1998
WO 9516508 A	22-06-1995	DE 4342782 A AT 403013 B AT 906794 A AU 1273795 A CA 2178484 A EP 0734283 A FR 2713508 A GB 2299033 A,B JP 9506544 T	22-06-1995 27-10-1997 15-03-1997 03-07-1995 22-06-1995 02-10-1996 16-06-1995 25-09-1996 30-06-1997
WO 9601676 A	25-01-1996	AU 3149895 A CA 2194664 A EP 0769979 A JP 10504230 T	09-02-1996 25-01-1996 02-05-1997 28-04-1998
WO 9500231 A	05-01-1995	US 5679249 A AU 7179394 A CA 2165963 A CN 1128501 A EP 0705132 A JP 8511984 T	21-10-1997 17-01-1995 05-01-1995 07-08-1996 10-04-1996 17-12-1996

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

D 1 de Internationale No

PCT/FR 98/02475

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 B01D65/08 B01D63/08 B01D63/16

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 B01D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 97 32652 A (RAISIO CHEMICALS OY) 12 septembre 1997 voir revendications; figures 3,5,8 ---	1,27
A	WO 95 16508 A (PALL CORPORATION) 22 juin 1995 cité dans la demande voir revendications; figures 1-4 ---	1,26,27
A	WO 96 01676 A (PALL CORPORATION) 25 janvier 1996 cité dans la demande voir revendications; figures ---	1,27
A	WO 95 00231 A (PALL CORPORATION) 5 janvier 1995 cité dans la demande voir revendications -----	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

16 février 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

25/02/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Cordero Alvarez, M

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Dr. de Internationale No

PCT/FR 98/02475

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9732652 A	12-09-1997	FI 960993 A AU 1882297 A CA 2247187 A NO 984046 A	05-09-1997 22-09-1997 12-09-1997 30-10-1998
WO 9516508 A	22-06-1995	DE 4342782 A AT 403013 B AT 906794 A AU 1273795 A CA 2178484 A EP 0734283 A FR 2713508 A GB 2299033 A, B JP 9506544 T	22-06-1995 27-10-1997 15-03-1997 03-07-1995 22-06-1995 02-10-1996 16-06-1995 25-09-1996 30-06-1997
WO 9601676 A	25-01-1996	AU 3149895 A CA 2194664 A EP 0769979 A JP 10504230 T	09-02-1996 25-01-1996 02-05-1997 28-04-1998
WO 9500231 A	05-01-1995	US 5679249 A AU 7179394 A CA 2165963 A CN 1128501 A EP 0705132 A JP 8511984 T	21-10-1997 17-01-1995 05-01-1995 07-08-1996 10-04-1996 17-12-1996